ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME IV OCTOBRE 1945 NUMÉRO 16

L'arme chimique dans la lutte contre les êtres nuisibles

Comme tous les autres êtres vivants, l'homme est engagé pour tout ce qui est nécessaire à son existence dans une lutte sans fin. Il a affaire à toutes sortes de compétiteurs. Bien qu'individuellement négligeables, beaucoup d'espèces bactériennes peuvent arriver à tuer si elles sont en nombre suffisant. Les récoltes dont il dépend pour sa subsistance sont attaquées par une foule d'organismes différents; elles peuvent être détruites par des maladies ou étouffées par les mauvaises herbes. D'innombrables variétés d'insectes sont les ennemis de l'homme et de son bien-être; certains comme les sauterelles et les termites, dévorent sa nourriture ou ruinent son habitation; d'autres comme les moustiques et les poux sont de dangereux transporteurs de germes de maladie. Les rats, les souris et autres prédateurs prélèvent aussi leur contribution; et le problème de contrôle de ces fléaux n'est que très partiellement résolu.

Les progrès de la chimie ont donné une force nouvelle à l'une des plus anciennes armes que l'homme emploie pour sa protection, l'usage des poisons. La fabrication et l'emploi de substances toxiques, date de la plus haute antiquité; celles que connaissaient les Anciens étaient surtout d'origine naturelle et comprenaient des composés du plomb et de l'arsenic, les venins de serpent, et des extraits de certaines plantes, telles que la cigüe. Nous savons aussi par Homère que les Grecs utilisaient l'anhydride sulfureux en fumigations.

Cette liste comprend certes beaucoup de poisons puissants, mais leur usage pratique était et reste limité du fait que leur action n'est pas sélective. Ils sont aussi et parfois plus mortels pour l'homme que pour les victimes visées et leur usage est par conséquent difficile et dangereux. Aussi la découverte au cours du XIXème siècle de poisons à action spécifique fut-elle un grand progrès. Des milliers d'autres poisons, y compris les matières colorantes furent examinés, mais le seul succès important à noter pour une longue période fut la découverte de l'atébrine, qui a une action spécifique sur les parasites de la malaria. Mais au cours des dix dernières années notre arsenal chimique contre les bactéries s'est merveilleusement enrichi, d'abord par la découverte des sulfamides, efficaces contre les staphylocoques et les streptocoques, et plus récemment par la découverte de la pénicilline dont l'activité est si exclusivement dirigée contre certaines bactéries que le danger d'administrer au patient une trop forte dose est négligeable.

Importantes en raison de leurs applications immédiates, ces découvertes l'étaient aussi en prouvant sans aucun doute possible que la recherche de poisons spécifiques n'était pas vaine. Elles ouvraient ainsi un nouveau domaine à l'activité des chimistes, dont nous récoltons déjà les fruits. Nous publions dans ce numéro un article du Dr R. E. Slade dans lequel il décrit quelques travaux récents sur cette question. Un fait extrêmement intéressant est la découverte récente de poisons spécifiques pour certaines plantes qui ont déjà été utilisés par les agriculteurs pour la destruction des mauvaises herbes. L'observation originale était qu'un certain nombre de substances dérivées de l'acide α-naphtylacétique et favorisant la croissance des plantes, ont un effet contraire si on les applique à haute concentration. L'une de ces substances, la méthoxone, est maintenant produite industriellement et s'est révélée extrêmement précieuse pour débarrasser les céréales, qu'elle n'affecte presque pas, des mauvaises herbes telles que la moutarde des champs.

Les poudres de pyrèthre et de derris sont des exemples de poisons naturels agissant spécifiquement sur les insectes. A côté d'elles on peut depuis ces toutes dernières années ranger les produits synthétiques comme le D.D.T. (dichlorodiphényl-trichloréthane) et le gammexane, isomère γ de l'hexachlorure de benzène. Ces substances, bien que peu toxiques pour les animaux domestiques et presque sans effets sur les feuilles des plantes, sont parmi les plus puissants insecticides connus.

La plupart des poisons spécifiques déjà connus ont été découverts soit par hasard, soit grâce à une laborieuse étude de centaines de substances différentes avec l'espoir que tôt ou tard on en trouverait une efficace. Pour le développement rapide de cette importante branche de la chimie appliquée, il semble qu'une méthode de recherche plus logique soit nécessaire; le progrès ne peut venir que de la connaissance du mécanisme de la toxicité spécifique, et il est intéressant d'apprendre que telles recherches sont maintenant en cours. Il semble prouvé que certains au moins de ces poisons spécifiques agissent en vertu de leur ressemblance chimique avec des substances essentielles au métabolisme des organismes attaqués. Une de ces dernières est l'acide *p*-aminobenzoïque, qui a une structure voisine de celle des sulfamides; Fildes et Woods supposent que l'action toxique des sulfamides s'explique par l'hypothèse que leur architecture moléculaire leur permet en quelque sorte d'agir comme une clef défectueuse qui peut entrer dans une serrure qu'ouvre l'acide *p*-aminobenzoïque, mais qui la bloque. En remplaçant cet acide dans une cellule, elles gênent ou arrêtent le métabolisme normal. On a suggéré de même que l'action toxique du gammexane était due à sa ressemblance structurelle avec la forme naturelle de l'inositol. Ces hypothèses ne sont encore que des spéculations, mais elles donnent une base à l'étude du problème et peuvent nous conduire graduellement à une meilleure compréhension du mode — ou des modes — d'action des poisons spécifiques.

Que le progrès soit lent ou rapide, ces découvertes n'en démontrent pas moins que nous approchons d'une ère où la destruction totale ou partielle des organismes nuisibles par des armes chimiques deviendra de plus en plus aisée. Au premier abord cette perspective ne présente que des avantages: champs et jardins sans mauvaises herbes, greniers et magasins sans rongeurs, toute maladie microbienne ayant son antidote chimique. Ne nous faut-il pas cependant être prudents et réfléchir aux dangers possibles? L'homme occupe sa place dans un système complexe où tous les organismes réagissent les uns sur les autres et sont ainsi en état d'équilibre dynamique approximatif. Il possède maintenant les moyens de modifier quelques-uns des éléments de ce système et désire naturellement les employer sans plus attendre pour ce qu'il croit être son avantage. Mais bien que les effets immédiats d'une telle action puissent lui être favorables, les facultés humaines de prévision sont encore trop limitées pour donner l'assurance que les ultimes résultats seront, eux aussi, avantageux. On peut au contraire facilement concevoir que la destruction d'un animal nuisible puisse faire croître le nombre d'une autre espèce qui était la proie de la première, ceci à l'infini. Toute modification de l'équilibre des forces naturelles est risquée et l'on peut sans forcer l'imagination réaliser par exemple les conséquences de la destruction des bactéries nitrifiantes du sol. Une telle catastrophe est peut-être improbable, mais de moindres désastres pourraient être déjà très graves et ils ne sont rien moins qu'impossibles si le contrôle chimique des organismes nuisibles est utilisé sans retenue et sans investigation préalable.

Ces conclusions générales peuvent à la réflexion paraître élémentaires; il semble malheureusement qu'elles ne reçoivent pas la sérieuse attention qui leur est due. Il n'est pas impossible que l'emploi futur des poisons spécifiques fasse plus pour changer l'aspect de la nature que toute autre application de nos connaissances scientifques dans le passé. Ces découvertes nouvelles peuvent être une source intarissable de bien-être et de richesses: il serait infiniment tragique que leur application prématurée et irréfléchie fut une cause de désastres et de malheurs.

On est prié d'adresser les manuscrits et la correspondance au rédacteur en chef, E. J. Holmyard, Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1. Nous invitons les chercheurs qui poursuivent des travaux importants ou intéressants à nous envoyer de courtes notes sur les expériences en cours et sur leurs derniers résultats.

La mesure du temps

SIR HAROLD SPENCER JONES

La physique moderne, et particulièrement la physique électronique, exigent une très grande précision dans la mesure du temps. Dans cet article, l'Astronome Royal montre comment on a pu satisfaire à cette exigence par le développement de méthodes astronomiques nouvelles pour l'établissement des standards de temps, et par la construction de nouveaux types d'horloges capables de donner l'heure avec une approximation inférieure à un dixième de milliseconde par jour.

Il existe une différence essentielle entre deux des notions dimensionnelles fondamentales de la physique, la masse et la longueur, et la troisième, le temps. On peut établir des standards permanents de masse et de longueur auxquels on peut ensuite comparer d'autres masses et d'autres longueurs. Mais il n'y a pas de standard de temps qui soit permanent. On pourrait utiliser comme standard permanent de temps n'importe quel phénomène se répétant avec une régularité absolue et muni d'un mécanisme compteur approprié, ce serait une horloge parfaite.

Mais l'horloge parfaite n'est qu'un idéal théorique, pratiquement inaccessible. Quelle que soit l'horloge utilisée pour la mesure du temps, elle doit être vérifiée fréquemment si l'on désire obtenir avec précision l'heure absolue ou des intervalles de temps.

Mais que pouvons-nous utiliser pour la vérification de nos horloges et par conséquent pour établir un standard de temps? La rotation de la terre autour de son axe nous fournit l'unité fondamentale de temps, le jour. Nous admettons que cette unité est invariable bien que, comme nous le verrons plus loin, ceci ne soit pas absolument exact. On peut définir le jour de plusieurs façons. Nous pouvons choisir un point de repère commode, qui peut être le soleil ou une étoile, ou quelque autre point ou corps fictif, et définir le jour comme étant l'intervalle de temps compris entre deux passages successifs de ce point à un méridien donné. La longueur du jour dépendra du choix du point de repère; si le point de repère est animé d'un mouvement qui n'est pas uniforme le jour aura une longueur variable.

Lorsque l'on choisit le soleil comme point de repère, le jour défini par rapport à lui s'appelle jour solaire apparent ou jour solaire vrai. Le jour solaire apparent n'a pas une longueur uniforme parce que le régime du mouvement diurne apparent du soleil autour de l'axe de la terre n'est pas uniforme. Ceci est dû en partie à ce que la distance de la terre au soleil est variable et en partie au fait que l'axe de rotation de la terre n'est pas perpendiculaire à son orbite. Les variations de longueur sont considérables; vers la fin de décembre par exemple, le jour solaire apparent est plus court de 50 secondes qu'à la mi-septembre. Une horloge de qualité très moyenne donne l'heure avec plus d'exactitude que cela. On imagine donc un soleil moyen fictif qui se déplace uniformément à l'équateur avec un mouvement égal au mouvement moyen du soleil lui-même. Le jour solaire moyen est donc l'intervalle de temps compris entre deux passages successifs de ce soleil moyen au même méridien; c'est le jour légal. L'heure déterminée par le soleil moyen est appelée heure solaire moyenne ou heure moyenne.

Mais en pratique, l'heure est déterminée par l'observation des étoiles. Par suite de l'éclat et de la dimension du soleil on ne peut déterminer son passage au méridien avec la même précision que pour une étoile. L'intervalle compris entre deux passages successifs d'une étoile sans mouvement propre est appelé jour sidéral et c'est la vraie période de rotation axiale de la terre. Il est plus court de quatre minutes environ que le jour solaire moyen parce que, au cours d'une rotation la terre s'est déplacée par rapport au soleil d'un degré environ sur son orbite; la terre doit donc tourner d'environ 361 degrés entre deux passages successifs du soleil moyen.

Mais en réalité le jour sidéral est défini par deux passages successifs non pas d'une étoile, mais du point vernal ou équinoxe de printemps, qui est le point dans le ciel où l'écliptique coupe l'équateur du nord au sud. Il est nécessaire de définir ainsi le jour sidéral afin de pouvoir convertir l'heure sidérale en heure moyenne. Mais le point vernal a un mouvement rétrograde le long de l'écliptique d'environ 50 secondes par an, par suite du mouvement de précession de l'axe de la

terre. Le jour sidéral ainsi défini est donc plus court de 0,009 seconde que la vraie période de rotation de la terre, il est donc équivalent à 23 heures 56 minutes 4,091 secondes solaires moyennes. Une horloge sidérale marquera zéro heure au moment de chaque passage du point vernal, de telle sorte que l'intervalle compris entre deux passages successifs soit exactement de 24 heures sidérales.

On obtient l'heure moyenne à partir de l'heure sidérale de la façon suivante. L'intervalle mesuré en temps sidéral entre le passage du point vernal et le passage d'un corps céleste est appelé ascension droite de ce corps; c'est l'une des coordonnées utilisées pour définir la position de ce corps dans le ciel, l'autre est sa déclinaison, ou distance angulaire au nord ou au sud de l'équateur. Il s'ensuit que, puisque le passage du point vernal a lieu à zéro heure d'heure sidérale, l'heure sidérale à laquelle le passage du corps a lieu est égale à son ascension droite. Mais le passage du soleil moyen se produit à midi, heure moyenne, par conséquent l'heure sidérale à midi, heure moyenne, est égale à l'ascension droite du soleil moyen qui peut être calculée et qui est donnée dans le *Nautical Almanac* pour chaque jour à minuit. Ainsi lorsque l'heure sidérale a été déterminée on peut trouver le moment où il est midi, heure moyenne; en d'autres termes, il est possible de passer de l'heure sidérale à l'heure moyenne.

Mais il y a une complication. Le mouvement du point vernal n'est pas uniforme, parce que, en outre du mouvement conique ou de précession de l'axe de la terre, il se produit un mouvement de balancement ou de nutation, dû aux perturbations causées par le soleil et la lune. Il a donc fallu introduire la notion d'*équinoxe moyenne*, dont le mouvement est uniforme et égal à la moyenne de celui de l'équinoxe vraie. La différence entre l'heure sidérale apparente et l'heure sidérale moyenne n'est jamais grande; en fait, on ne l'a remarquée que depuis une vingtaine d'années. Cette différence est d'environ $\pm$ 1,2 seconde. La plus grande partie de cette différence, soit environ $\pm$ 1,06, a une période de 18 années, la période de révolution des noeuds de l'orbite de la lune. Ce sont cependant les composants ayant une courte période qui ont la plus grande importance dans la mesure précise du temps, bien qu'ils soient moindres par leur magnitude. Les termes principaux sont un terme de six mois équivalent à $\pm$ 0,080 seconde, et un terme ayant une période d'un demi mois lunaire, soit environ 15 jours, qui, combiné avec des termes plus petits, peut atteindre $\pm$ 0,020 seconde. Par suite de la précision des horloges modernes il faut tenir compte de ces termes plus petits. Le *Nautical Almanac* donne sous forme de tables, et pour zéro heure chaque jour, l'heure sidérale apparente et la différence entre l'heure sidérale apparente et l'heure sidérale moyenne, appelée nutation en ascension droite.

Si l'on détermine le moment du passage au méridien d'une étoile dont on connaît l'ascension droite, on a alors l'heure sidérale. C'est la base de la détermination de l'heure. En pratique la mesure du temps se réduit à trouver la variation et le régime (ou variation en 24 heures) de l'horloge sidérale standard. En lisant sur l'horloge l'heure à laquelle se produit le passage d'une étoile dont on connaît l'ascension droite, on obtient une heure d'horloge correspondant à un moment bien défini de l'heure sidérale. L'erreur de l'horloge est ainsi déterminée. En répétant l'observation la nuit suivante, on détermine la variation de l'horloge en 24 heures, c'est-à-dire le régime de l'horloge. Pour diminuer l'influence des erreurs d'observation, chaque détermination de variation d'une horloge est basée sur l'observation de 16 à 20 étoiles.

Les observations pour la détermination de l'heure sont généralement faites avec un télescope méridien reposant sur un axe est-ouest qui permet de le déplacer dans l'axe du méridien. Lorsque l'instrument est mis au point sur une étoile au moment de son passage au méridien, on voit l'étoile traverser le champ visuel, la vitesse de son mouvement dépendant de sa distance au pôle. Pour déterminer l'instant du passage au méridien il faut avoir recours à un chronographe. Dans les anciennes méthodes d'observation on utilise des fils d'araignée placés verticalement dans le plan focal de l'objectif. Chaque fois que l'étoile traverse un fil, l'opérateur appuie sur un transmetteur monté sur le télescope à une distance commode de l'oculaire; il ferme ainsi un circuit électrique qui transmet un signal au chronographe. L'horloge standard envoie également un signal au chronographe. Le signal donné par l'horloge et celui du passage sont tous les deux enregistrés sur un cylindre ou un ruban mobile et l'on peut ensuite lire les heures des signaux de passage. La position et l'écartement des fils étant connus on peut déduire l'heure du passage au méridien de l'heure de la traversée de chaque fil; on prend comme heure du passage la moyenne de ces lectures.

Ces observations sont fortement influencées par

les « équations personnelles ». Un observateur donnera son signal au moment exact où l'étoile est coupée par le fil; un autre le donnera légèrement plus tôt. Il peut y avoir des différences personnelles systématiques allant jusqu'à une demi seconde entre deux observateurs sérieux et sûrs. On emploie donc presque toujours pour les déterminations de l'heure l'appareil appelé micromètre impersonnel. Au lieu de plusieurs fils fixes, un seul fil est tendu sur un cadre mobile. L'observateur déplace ce cadre en manipulant l'une des têtes moletées placées à chaque extrémité de la vis qui le traverse, de façon à maintenir la bissection de l'étoile par le fil; une roue de contact montée sur la vis envoie des signaux au chronographe, donnant ainsi l'heure du passage. Avec cette forme de micromètre les équations personnelles de différents observateurs sont toujours inférieures à deux ou trois centièmes de seconde. Un perfectionnement plus grand encore consiste à déplacer mécaniquement le fil à la vitesse appropriée, variable selon la distance de l'étoile au pôle; l'observateur n'a plus qu'à maintenir la bissection exacte au moyen d'un mécanisme différentiel.

Ces observations doivent être soumises à de nombreuses corrections, les plus importantes sont celles des erreurs de niveau, d'azimuth, de collimation, et des pivots. A part cette dernière, ces erreurs sont susceptibles de variations annuelles et journalières et doivent être vérifiées soigneusement. On utilise généralement pour la détermination de l'heure un petit télescope qui peut être retourné; au voisinage du passage d'une étoile au méridien, lorsque l'on a observé la moitié du passage, le télescope est renversé sur ses coussinets et la seconde moitié du passage est observée en position renversée. On élimine ainsi la correction de collimation; mais il n'est plus possible de déterminer l'erreur de niveau par une observation du nadir avec un horizon de mercure puisque pour cela il faut connaître la collimation. On utilise donc un niveau d'arpenteur, à bulle très sensible; mais ceci a également ses défauts et la difficulté de déterminer avec précision l'erreur de niveau et ses variations constituent l'un des facteurs principaux limitant la précision des observations. L'erreur probable d'une seule détermination de l'heure, basée sur l'observation de 16 étoiles au moyen d'une petite lunette méridienne renversable est d'au moins $\pm$ 0,010 seconde.

On a réduit ces erreurs à l'Observatoire Naval de Washington, par l'ingénieuse utilisation d'un télescope zénithal photographique, construit à l'origine par F. E. Ross pour déterminer la variation de latitude. Le principe de cet instrument est celui du tube zénithal à réflexion, inventé par Airy. Le télescope est mis en place et fixé en direction du zénith. Les rayons lumineux provenant de l'objectif sont réfléchis par un horizon de mercure dont la position est telle que le plan focal traverse le second des principaux points de Gauss de l'objectif. Lorsque cette condition est exactement remplie, les positions des images des étoiles sont indépendantes de l'erreur de niveau et de ses variations. Dans l'instrument de Airy les observations étaient visuelles; le point de Gauss était juste au-dessus de l'objectif, et la lumière convergente traversait nécessairement l'objectif une seconde fois lorsqu'elle passait près du foyer. Ceci gênait la précision des observations. Dans l'instrument de Ross, le point de Gauss fut amené au-dessous de l'objectif en plaçant la lentille de flint au-dessus. En séparant les deux lentilles on parvint à augmenter suffisamment la distance entre le point de Gauss et l'objectif pour permettre de placer une plaque photographique dans le plan focal principal. On obtient des images rondes des étoiles en donnant des temps de pose suffisamment longs et en déplaçant la plaque à la vitesse appropriée. On peut faire tourner ensemble de 180 degrés l'objectif et la plaque. Si l'on prend deux photographies d'une étoile à des intervalles approximativement égaux avant et après son passage au méridien, en faisant tourner l'objectif de 180 degrés entre les deux expositions, on peut en déduire le moment du passage au méridien. Supposons que T_0, T_1, T_2, représentent le moment du passage au méridien et la durée moyenne de chaque période d'exposition, et que x_1, et x_2 représentent sur la plaque la distance (en millimètres) des images au plan méridien. Si s représente l'échelle de la plaque exprimée en secondes de temps par millimètre, il s'ensuit que

$$T_1 + x_1 s = T_0 = T_2 - x_2 s,$$

qui donne $$2T_0 = T_1 + T_2 + s(x_1 - x_2).$$

On peut mesurer au micromètre la distance entre les deux images en direction de l'ascension droite $(x_1 - x_2)$, et T_1 et T_2 sont enregistrés par un chronographe d'après des signaux donnés par l'horloge standard, ce qui permet de déterminer l'heure d'horloge du passage de l'étoile au méridien. Connaissant l'ascension droite de l'étoile, on déduit l'erreur de l'horloge.

Cette méthode de détermination de l'heure a plusieurs avantages. Le télescope est fixe au lieu d'être déplacé pour chaque étoile à observer; les observations sont faites au zénith où les conditions

sont les plus favorables; l'emploi de la photographie élimine l'équation personnelle; l'erreur de niveau est également éliminée, et les autres erreurs sont réduites au minimum. L'erreur probable de l'heure déterminée par l'observation d'une seule étoile ne dépasse pas $\pm$ 0,010 de seconde et la moyenne des observations faites au cours d'une nuit donne l'heure avec une erreur probable de deux à trois milli-secondes à peine.

Un télescope zénithal photographique perfectionné est en cours de construction pour l'Observatoire Royal de Greenwich. Ce télescope aura un objectif de 25 cm d'ouverture qui permettra d'observer une grande sélection d'étoiles. La plaque sera déplacée pendant l'exposition à une vitesse uniforme contrôlée par une des horloges à cristal de quartz décrites ci-dessous.

Quelle que soit la méthode employée pour la détermination de l'heure, on a besoin de connaître l'ascension droite des étoiles observées. La détermination d'un système précis d'ascensions droites s'étendant à tout le ciel est une opération longue et compliquée. On a coordonné et réuni les résultats obtenus pour un très grand nombre d'instruments variés sous forme de catalogue appelé catalogue fondamental. Les positions données dans ce catalogue fondamental servent à déterminer l'heure avec des instruments méridiens. Ceci a en outre l'avantage de permettre de comparer directement les heures déterminées par différents observatoires. Avec le télescope zénithal photographique les observations sont limitées à une étroite bande de ciel au zénith; il est donc nécessaire d'observer des étoiles peu brillantes qui ne se trouvent pas dans le catalogue fondamental. Il faut par conséquent faire des observations spéciales avec des instruments de passage pour rapporter la position de ces étoiles au système fondamental. Les positions ainsi dérivées sont corrigées par les résultats des observations faites avec le télescope zénithal.

La position apparente d'une étoile est affectée par l'aberration, la précession, la nutation, la parallaxe stellaire (qui peut être négligée sauf pour les étoiles les plus proches), et le mouvement propre de l'étoile. Les positions des étoiles du catalogue fondamental sont publiées chaque année pour des intervalles de dix jours, par le *Nautical Almanac Office* de l'Observatoire Royal, elles sont basées sur des calculs faits par les bureaux des éphémérides des Etats-Unis, de France, d'Allemagne et d'Espagne. Pour les déterminations de l'heure la position apparente doit être interpolée à l'heure d'observation. On ne connaît pas les positions apparentes des étoiles peu brillantes observées avec le télescope zénithal photographique et elles doivent être calculées spécialement.

Une détermination de l'heure donne l'erreur, à un moment donné, de l'horloge avec laquelle les observations sont comparées. Lorsque l'erreur de l'horloge a été déterminée plusieurs nuits de suite, les résultats obtenus peuvent être inscrits aussi exactement que possible sur une courbe continue, et l'on peut alors connaître par interpolation l'erreur de l'horloge pour les heures intermédiaires. Ceci suppose que l'erreur de l'horloge varie régulièrement. Mais pour donner l'heure au public au moyen de signaux de temps, il est nécessaire de pouvoir prévoir l'erreur de l'horloge à un moment quelconque dans le futur, c'est un processus d'extrapolation. Il peut s'écouler plusieurs jours sans qu'il soit possible de faire une observation; si le régime de l'horloge est irrégulier, les erreurs calculées peuvent être appréciablement fausses. Il est donc important que tout observatoire s'occupant de la détermination et de la diffusion de l'heure soit pourvu des horloges les plus exactes possibles.

Les horloges à pendule les plus précises sont celles du type à pendule libre « Shortt-Synchronome ». Ces horloges réalisent d'une façon admirablement simple le rêve de toujours des horlogers, qui est de faire faire à une horloge auxiliaire tout le travail nécessaire pour faire fonctionner un ensemble de rouages qui permettent d'indiquer l'heure sur un cadran et d'émettre des signaux; cette horloge est contrôlée par une horloge principale dont le pendule se balance librement sans autre intervention que l'impulsion périodique nécessaire à le maintenir en mouvement. Dans l'horloge à pendule libre Shortt-Synchronome l'horloge auxiliaire est réglée de telle sorte que, si elle fonctionnait comme une horloge indépendante elle retarderait de 6 secondes par jour. Le processus de synchronisation par l'horloge principale consiste donc à accélérer l'horloge auxiliaire autant qu'il est nécessaire. La partie essentielle du mécanisme de synchronisation est le synchroniseur à échappement; l'armature d'un petit électro-aimant, actionné toutes les 30 secondes par un courant provenant de l'horloge principale, peut attirer l'extrémité d'un ressort monté sur le balancier de l'horloge auxiliaire. Au moment où le contact se produit le ressort est fléchi lorsque le pendule se balance, et celui-ci est par conséquent accéléré de 1/240ème de seconde mais l'entraînement ne pourra se produire que si le balancier captif a

suffisamment de retard sur le balancier libre. Le taux normal de retard du balancier captif est de 6 secondes par jour, ou de 1/480ème de seconde par 30 secondes, et le courant de synchronisation passant toutes les 30 secondes, il s'ensuit que le synchroniseur accrochera et échappera alternativement.

Des horloges de ce type ont été installées à l'Observatoire de Greenwich en 1924. Le pendule libre est placé dans une boite étanche installée dans une pièce maintenue à température constante, afin d'éliminer les effets des variations de pression atmosphérique et des variations de température. La pression à l'intérieur de la boite est abaissée jusqu'à 2,5 cm de mercure environ pour diminuer la résistance de l'air. On a constaté que ces horloges donnent l'heure avec une approximation de l'ordre de un à deux centièmes de seconde par jour. A l'usage on s'est aperçu à Greenwich que leurs variations étaient dues en partie au fait que l'on ne tenait pas compte des termes de courte période dans la nutation, et il devint nécessaire de distinguer entre l'heure sidérale apparente et l'heures sidérale moyenne.

L'expérience a montré également que malgré leur excellence ces horloges laissent encore à désirer. Elles sont susceptibles de petites variations irrégulières de régime qui, par intégration, produisent des variations irrégulières entre l'heure exacte et celle que donnent ces horloges.

Entre temps, le développement d'étalons exacts de fréquence, contrôlés par des oscillateurs de cristal de quartz, montrèrent que, considérés comme des horloges, ils donnaient de meilleurs résultats que les horloges à pendule libre. Lors de la vérification des étalons de fréquence à l'aide des signaux de temps, on constatait des fluctuations qui n'étaient pas confirmées si l'on comparait entre eux les différents étalons de fréquence. On n'avait à ce moment là d'autres moyens de vérifier les étalons de fréquence que la comparaison avec les signaux de temps alors que les résultats donnés quotidiennement par ces étalons étaient beaucoup plus exacts que ceux des horloges standards de l'observatoire. Comme l'Observatoire Royal est chargé de donner l'heure exacte à toute la Grande-Bretagne, il doit pouvoir satisfaire à toutes les exigences sur l'exactitude de l'heure qu'il diffuse. Et c'est pour être en mesure de donner des signaux horaires avec l'exactitude exigée par la physique électronique moderne que l'on est en train de remplacer les horloges à pendule de l'Observatoire Royal par des horloges à cristal de quartz.

Une horloge à quartz fonctionne grâce aux propriétés piézo-électriques du quartz. Lorsque l'on exerce une certaine pression sur les faces opposées d'un fragment de quartz, des charges électriques de signe contraire apparaissent perpendiculairement aux deux faces. Inversement, si la plaque de quartz est placée entre deux plaques de métal chargées électriquement, l'une positivement, l'autre négativement, la plaque se dilate et se contracte dans une direction perpendiculaire à celle des charges électriques. Si les deux plaques de métal sont reliées à un circuit de courant alternatif de telle sorte que la tension des plaques soit constamment inversée, la plaque de quartz vibrera constamment. Lorsque la fréquence de l'alternance est voisine de la fréquence naturelle de résonance de la plaque de quartz c'est cette fréquence qui prévaut et maintient très régulière la fréquence relativement instable du circuit alternant.

Les horloges à quartz installées à l'Observatoire Royal ont été dessinées et construites par la *Radio Branch* de l'Administration des Postes. L'oscillateur de quartz a la forme d'une petite plaque rectangulaire dont les dimensions sont réglées de telle sorte que la fréquence de résonance soit très voisine de 100.000 cycles par seconde. La plaque est taillée dans un cristal de quartz naturel, soigneusement sélectionné, il ne doit pas présenter d'hémitropie optique ou électrique; elle est sertie aux points nodaux de la vibration et maintenue à température constante dans un four contrôlé par un thermostat. La plaque est taillée dans une certaine direction par rapport aux axes optiques du cristal, on l'appelle la taille GT, la fréquence de la plaque ainsi obtenue est pratiquement indépendante de la température. Le circuit destiné à maintenir la plaque en vibration n'est pas un simple circuit à tubes électroniques; on emploie pour plus de précision un circuit à pont qui est équilibré seulement lorsque le cristal vibre à sa fréquence de résonance naturelle. On sait que la fréquence reste constante à un cent millionième près.

On appelle étalons de fréquence les sources de fréquence constante contrôlées par un cristal, et ils ont de nombreuses applications tels que le contrôle des fréquences des transmetteurs de radio. Pour les utiliser comme horloges il faut pouvoir compter les vibrations. On peut par exemple utiliser un circuit à tubes oscillateurs appelé « multivibrateur » qui possède en outre de sa fréquence fondamentale toute une série d'harmoniques. Si la fréquence fondamentale du multivibrateur est d'environ 10.000 cycles par seconde, la fréquence de son dixième harmonique

sera à peu près celle du cristal de quartz. Si l'on fait passer dans le multivibrateur un peu de la fréquence contrôlée par le cristal, la fréquence du dixième harmonique se modèlera sur celle du cristal. La fréquence fondamentale du multivibrateur sera alors exactement un dixième de celle du cristal. On peut utiliser un deuxième multivibrateur donnant une fréquence de 1.000 cycles par seconde, soit exactement un centième de celle du cristal. Dans les horloges de l'Observatoire on a recours à une technique préférable qui consiste à employer des circuits appelés oscillateurs a fréquence fractionnaire. Le débit du cristal de quartz est amené dans l'un de ces oscillateurs qui donne un débit exactement égal à la moitié de la fréquence originale. Ce débit est à son tour amené dans un second oscillateur qui donne un débit dont la fréquence est exactement égale au cinquième du débit à l'entrée et par conséquent au dixième de celui du cristal. On utilise deux autres oscillateurs pour le stade suivant de division de fréquence, et l'on obtient le débit final de 1.000 cycles par seconde. Lorsque l'on utilisait les multivibrateurs il pouvait arriver, si le cristal cessait de vibrer pour une raison quelconque, que les deux circuits continuent à fonctionner ensemble donnant ainsi des résultats erronés. Ceci n'est plus possible avec l'emploi des oscillateurs à fréquence fractionnaire; l'arrêt du circuit du cristal amène l'arrêt complet.

Lorsque l'on a obtenu un débit ayant une fréquence de 1.000 cycles, on peut l'utiliser pour actionner un moteur synchrone pourvu de contacts donnant des impulsions toutes les secondes et dixièmes de seconde. Le moteur peut également actionner des aiguilles par l'intermédiaire d'un mécanisme approprié, comme dans une horloge électrique ordinaire et marquer ainsi les heures, les minutes et les secondes. Ou bien on peut diviser davantage encore la fréquence pour obtenir une fréquence de dix cycles par seconde. Les oscillations sinusoïdales peuvent alors être transformées par un circuit de détente approprié pour donner de brèves impulsions à intervalle d'un dixième de seconde.

Les horloges à quartz qui sont en cours d'installation à l'Observatoire Royal sont toutes réglées pour donner une fréquence voisine de 100.000 cycles par seconde d'heure moyenne. Par l'intermédiaire de mécanismes appropriés le moteur synchrone peut donner des impulsions à chaque seconde et dixième de seconde d'heure sidérale. La même horloge peut donc donner à la fois l'heure moyenne et l'heure sidérale. Tous les signaux de temps sont évidemment donnés d'après l'heure moyenne; l'heure sidérale est utilisée seulement pour les déterminations de l'heure, aussi n'est-il pas indispensable que toutes les horloges soient construites pour donner les secondes sidérales.

Il est possible également avec un mécanisme simple d'obtenir des impulsions à intervalle de 60/61 de seconde et l'horloge peut ainsi envoyer des impulsions espacées très exactement à raison de 61 par minute qui fournit les signaux de temps rythmiques ou de vernier, utilisés en navigation pour permettre la détermination de l'erreur précise d'un chronomètre.

La grande supériorité des horloges à quartz sur les meilleures horloges à pendule est due à ce qu'elles sont exemptes des petites modifications irrégulières de régime qui sont courantes dans les horloges à pendule. Des modifications de régime peuvent se produire, mais elles sont bien déterminées et aussitôt après qu'une de ces modifications s'est produite, le régime redevient régulier. On peut donc représenter graphiquement les erreurs d'une horloge obtenues d'après les déterminations de l'heure, par une ligne droite ou par une série de lignes droites. Ceci permet de réduire considérablement les incertitudes dans la prédiction de l'erreur d'une horloge.

Les horloges à quartz ont un autre avantage pour la diffusion régulière de l'heure exacte au public. Leurs régimes relatifs peuvent être déterminés avec un degré élevé de précision. Dans chaque cas, la fréquence du cristal est réglée de façon à être très voisine de la fréquence nominale de 100.000 par seconde. En combinant les fréquences de deux horloges dans un circuit électrique approprié, on peut connaître la fréquence des battements entre les deux horloges. La précision du réglage est telle que les battements entre deux horloges se produisent à des intervalles d'une minute à peu près. Les battements peuvent être indiqués par un compteur et il est possible de calculer la durée de 10 ou 20 battements. La différence entre les fréquences des deux horloges est égale à la fraction de battement durant une seconde. On peut déduire immédiatement le régime quotidien de deux horloges de cette mesure de la différence de fréquence instantanée. On peut ainsi connaître facilement le régime relatif avec une précision supérieure à un dixième de milliseconde.

Il est également possible d'utiliser un compteur magnétique de battements qui compte automatiquement les battements entre deux horloges. On peut connaître ainsi le nombre de battements

en 24 heures. Ceci en effet donne une intégration du régime relatif, et donne ainsi la différence d'heure qui se produit en un jour entre les deux horloges. On peut donc connaître facilement les régimes quotidiens relatifs de deux horloges standard avec une erreur possible inférieure à un centième de milliseconde. Comme ces comparaisons sont basées directement sur la fréquence normale primaire de 100.000 cycles par seconde, il n'est pas nécessaire que toutes les horloges standards soient munies de circuits diviseurs et de moteurs phoniques donnant les secondes et les dixièmes de seconde. Ceci représente une importante économie de matériel.

Mais les horloges à cristal de quartz ont un inconvénient qui n'existe pas dans les horloges à balancier. Ces dernières peuvent fonctionner pendant de longues périodes, allant jusqu'à plusieurs années, sans s'arrêter. Mais on ne peut espérer voir fonctionner sans interruption pendant d'aussi longues périodes les circuits oscillateurs d'une horloge à quartz. Lorsque l'horloge est remise en marche il y a beaucoup de chances pour qu'il se soit produit un changement de régime; mais il est possible de déterminer rapidement et exactement le nouveau régime par comparaison avec d'autres horloges de façon à tenir compte des modifications probables de régime. Les horloges à quartz de l'Observatoire Royal sont disposées par groupes de trois, chaque groupe constituant une unité. On compare régulièrement entre elles les trois horloges d'un même groupe: AB, BC, et CA. Si l'une des trois s'arrête, il est possible de déterminer par comparaison avec les deux autres les modifications de régime. On compare également entre eux les groupes de trois. L'arrêt d'une des horloges n'est donc pas très grave, mais il est important qu'elles ne s'arrêtent pas toutes à la fois. Ceci se produirait en cas de panne de secteur si elles étaient actionnées par ce courant. Pour éviter cela les oscillateurs sont actionnés par des accumulateurs. Le courant nécessaire au chauffage et au fonctionnement des circuits de contrôle provient du secteur; une courte interruption de courant n'a aucune importance. Dans le cas d'une panne de secteur, un alternateur se met automatiquement en marche en l'espace de quelques secondes et fournit le courant nécessaire à la régulation de la température. Les horloges à pendule s'arrêtent rarement, mais chaque arrêt est grave car il faut généralement plusieurs semaines à une horloge à pendule avant qu'elle ait pu se stabiliser après sa remise en marche.

Les oscillateurs à quartz sont utilisés également pour actionner un élément compteur appelé chronomètre compteur décimal. Le débit de 100.000 cycles par seconde provenant d'un standard primaire est amené dans un élément compteur actionné par tube électronique et qui compte, à l'échelle décimale, le nombre d'oscillations complètes qui se produisent entre deux impulsions dont on désire mesurer la différence de temps; le résultat est visible sur cinq cadrans séparés. Puisqu'une unité est comptée tous les dix microsecondes (i.e. 10^{-5} secondes), le nombre total est la différence de temps en unités de dix microsecondes. On peut s'arranger pour qu'une horloge mette le compteur en marche et pour que l'autre l'arrête; on peut, comme vérification, renverser les rôles des deux horloges. Pour plus de précision, on peut s'arranger pour que cette opération soit répétée automatiquement dix fois puis s'arrête, le chiffre total étant alors enregistré. On peut comparer de la même façon l'horloge et un signal radio-électrique de temps. On peut ainsi obtenir une plus grande précision que par l'emploi du type habituel de chronographe à ruban et, de plus, on obtient le résultat directement sans avoir à lire des mètres de ruban chronographique. Lorsque l'on utilisa pour la première fois de cette façon le chronographe compteur décimal on s'attendait à ne pouvoir comparer les horloges et les signaux radio-électriques que dans de bonnes conditions de réception. Mais on a constaté que cette méthode peut être utilisée alors que le brouillage atmosphérique est tel que l'enregistrement sur ruban est presque indéchiffrable. La raison en est que le compteur ne peut être actionné que par des impulsions brèves et que les bruits de fond ne sont généralement pas assez rapides pour l'influencer. On fait toujours plusieurs séries de comparaisons pour vérification.

Lorsque l'installation à l'Observatoire Royal des 18 horloges à quartz prévues sera terminée et que l'on pourra mettre en service le télescope zénithal photographique, l'erreur probable des déterminations de temps sera réduite jusqu'à être de deux à trois millisecondes seulement, et l'heure pourra être déterminée avec une précision qui n'a encore jamais été obtenue jusqu'ici. Ceci ouvrira de nouvelles possibilités. Nous avons admis jusqu'ici que la longueur du jour, définie par la rotation de la terre par rapport à l'équinoxe moyenne est invariable. Les observations astronomiques ont montré que cette hypothèse n'est pas vérifiée par les faits. En 1695, Halley remarqua en comparant les positions de la lune

données par les observations faites à son époque avec les positions déduites des observations antérieures des éclipses, que le mouvement moyen de la lune était en train de s'accélérer. Puis, pendant la dernière partie du XIXème siècle, Newcomb montra que le mouvement de la lune présente des fluctuations qui ne pouvaient apparemment être expliquées par aucune action connue de la gravitation. Les recherches minutieuses de Brown sur le mouvement de la lune, aboutissant à ses *Tables of the Motion of the Moon*, confirmèrent les résultats de Newcomb. On a établi depuis de façon concluante que le soleil, Mercure, et Vénus présentent également des accélérations séculaires de leurs mouvements moyens et, de plus, des fluctuations irrégulières qui sont analogues à celles du mouvement de la lune, mais moins nombreuses et moindres par rapport à leurs mouvements relatifs moyens. La similitude des résultats pour la lune, le soleil, Mercure et Vénus, montre que c'est la terre qui est la coupable, et que notre heure standard, considérée comme constante est en réalité variable.

Les accélérations séculaires dans les mouvements moyens sont dûs à un allongement lent du jour; ceci est expliqué correctement par la friction des marées dans les mers peu profondes, qui tendent à freiner la terre. L'allongement du jour est d'environ un millième de seconde par siècle; un changement aussi faible est négligeable dans la mesure du temps avec le degré actuel de précision, mais au point de vue cosmique il finira par devenir très important parce que ses effets sont cumulatifs. Le jour continuera à allonger jusqu'à ce que la terre présente toujours la même face à la lune; le jour aura alors une durée égale à 47 de nos jours actuels.

Les fluctuations irrégulières dans les mouvements apparents sont causées par les changements de longueur du jour, raccourcissement ou allongement, qui peuvent aller jusqu'à cinq millisecondes. On ne connaît pas avec certitude la cause de ces changements, mais ils pourraient être suffisamment expliqués par de légères contractions ou expansions de quelques centimètres seulement du rayon terrestre: il est évident que des changements de rayon aussi petits ne peuvent être détectés par observation directe. Il semble que ces changements se produisent assez soudainement, mais la précision des observations astronomiques n'est pas suffisante pour montrer si elles se produisent instantanément ou en quelques mois, ou même un ou deux ans. Avec la perspective qui s'ouvre actuellement de pouvoir déterminer la longueur du jour avec une précision de un dixième de milliseconde, on devrait pouvoir déterminer la soudaineté avec laquelle ces changements se produisent.

Nous entrons là dans une nouvelle ère dans la mesure du temps et il semble bien que les horloges faites par l'homme arriveront à prouver que la terre ne donne pas l'heure avec régularité.

L'énergie atomique

La bombe atomique, facteur décisif de la guerre contre le Japon, est bien plus qu'un nouvel et redoutable instrument de destruction. Elle a été d'un immense secours en ce sens qu'elle a épargné des centaines de milliers de victimes, inévitables si la guerre en Orient avait dû être réglée par une longue lutte entre des armées ennemies, et, d'autre part, si l'on applique à des fins utiles les nouveaux principes employés à sa construction, ils seront de toute évidence destinés à transformer toute l'histoire de l'humanité. Il a été possible pour la première fois de transformer de la matière en énergie sur une échelle suffisamment considérable pour être employée pratiquement, et dans des conditions telles que l'énergie nécessaire pour déclancher la réaction est insignifiante par comparaison avec celle que l'on obtient. La science doit maintenant résoudre le problème du contrôle de la désintégration des atomes de façon que l'immense réserve d'énergie devenue ainsi disponible puisse être employée efficacement et sans danger, non pour la destruction, mais au service de l'humanité.

C'est avec une grande fierté que l'on songe que les savants britanniques ont joué un rôle important tant dans l'établissement des principes fondamentaux ayant trait à la libération de l'énergie atomique que dans la longue et difficile tâche de la mise en pratique de ces principes. Un excellent résumé officiel de la part qu'ils ont prise à ces travaux vient de paraître sous forme de Livre Blanc du gouvernement (Government White Paper).[1]

[1] *Statements Relating to the Atomic Bomb.* London: His Majesty's Stationery Office, London, 1945. Prix 4d. net.

Histoire du Laboratoire Cavendish, de Cambridge

ALEXANDER WOOD

Le « Cavendish » est l'un des premiers laboratoires qui aient été créés exclusivement pour l'étude et l'enseignement de la physique. Les recherches qui y ont été poursuivies par les professeurs qui se succédèrent à la chaire Cavendish (Clerk Maxwell, Lord Rayleigh, Sir J. J. Thomson, Lord Rutherford et Sir Lawrence Bragg), ainsi que par leurs collaborateurs, ont profondément influé sur les progrès de la science. L'article retrace l'histoire de son développement, depuis ses débuts modestes, en 1868.

C'est en 1868 que l'Université de Cambridge prit les premières mesures en vue de la création d'un laboratoire de physique et la fondation d'une section subventionnée spécialement pour l'enseignement de cette science. C'est au cours de cette année qu'une commission publia un rapport sur la nécessité d'un laboratoire de physique, et le septième Duc de Devonshire, qui était à ce moment Chancelier de l'Université, offrit de fournir les fonds pour la construction du bâtiment et l'équipement du laboratoire. Cette offre serait téméraire à l'époque actuelle même pour le bienfaiteur le plus fortuné, mais en 1877 le premier professeur put annoncer que le Chancelier avait complété son don munificent à l'université et doté le Laboratoire Cavendish des appareils les plus modernes.

FIGURE 1 – *James Clerk Maxwell, Professeur à la chaire Cavendish* 1871–79.
(Avec l'autorisation de Longmans, Green & Co. Ltd.)

La chaire de physique expérimentale fut fondée en 1871 et nommée Chaire Cavendish en l'honneur du célèbre et excentrique parent du Duc, Henry Cavendish (1731–1810). Le choix du premier professeur était important et, après quelque hésitation, il fut porté sur James Clerk Maxwell. Maxwell s'était déjà fait une réputation comme professeur à King's College, à Londres. Dans le domaine théorique il avait apporté d'importantes contributions à la théorie cinétique des gaz, à l'explication de la nature des anneaux de Saturne et à la théorie de la propagation des ondes électro-magnétiques. Il avait également fait des recherches expérimentales sur le mélange des couleurs, la viscosité des gaz et sur les relations entre les unités électriques.

Sitôt après sa nomination il fit le tour des laboratoires, recueillant tous les renseignements possibles sur leur équipement et leur organisation. Le local fut prêt à être occupé en partie en 1873 et fut solennellement ouvert en 1874. Il était conçu pour deux types de travaux expérimentaux, soigneusement différenciés par Maxwell dans son discours inaugural, à savoir: des expériences destinées à illustrer certains faits et des expériences de recherche. Les premières étaient un genre de démonstrations rappelant celles qui sont effectuées au cours des conférences modernes, plutôt que des séries organisées de cours pratiques, et elles étaient plus qualitatives que quantitatives. Ce fut seulement au cours des grandes vacances de 1879 que l'on

introduisit une branche d'enseignement se rapprochant de ce que nous entendons maintenant par « travaux pratiques de physique ». On devait « exécuter devant les élèves les expériences et les prises de mesures d'utilité courante pour la recherche en physique ». Les appareils devaient ensuite être mis à la disposition des élèves afin qu'ils puissent refaire l'expérience.

Dans sa leçon inaugurale Maxwell fit également prévoir la recherche telle que nous l'entendons aujourd'hui. Les travaux les plus importants effectués au laboratoire du temps de Maxwell sont sans doute ceux relatifs aux étalons électriques qu'il avait commencés en 1862 à King's College. Ce travail était fait sous les auspices de la British Association et il fut continué pendant toute la durée de la carrière de professeur de Maxwell puis, plus tard, par ses successeurs, jusqu'à la fondation du National Physical Laboratory. A ce moment, ces recherches y furent transférées.

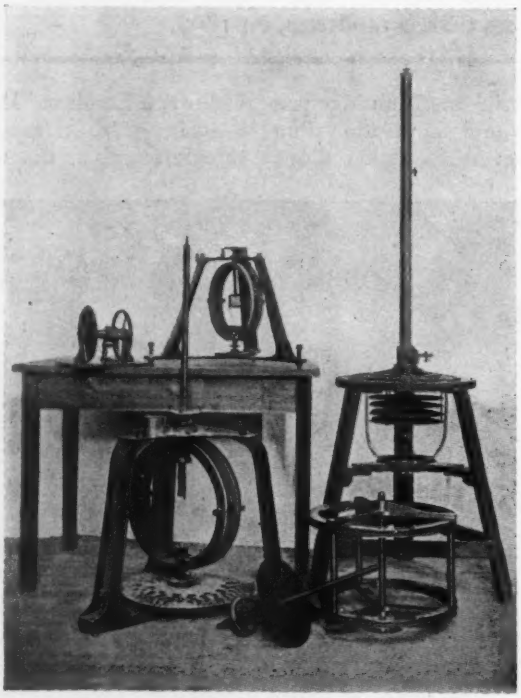


FIGURE 2 – *Quelques appareils employés pour des expériences classiques.*
(Avec l'autorisation de Longmans, Green & Co. Ltd.)

Maxwell se consacra avec beaucoup de conscience à une tâche importante, à l'accomplissement de laquelle il ne mesura pas ses efforts: Henry Cavendish avait fait des travaux intéressants et originaux sur l'électricité mais, n'aimant ni la gloire ni la célébrité, il ne les avait pas publiés. Les mémoires furent passés à Maxwell qui s'employa à leur publication.

Parmi les nombreuses expériences exécutées dans ce but par Maxwell il faut citer la mesure de la décharge électrique par le seul effet observable à l'époque de Cavendish, l'effet physiologique. Les deux extrémités du circuit étaient introduites dans deux cuves remplies d'eau et le galvanomètre humain recevait le choc en introduisant une main dans chaque cuve. Il estimait l'intensité de la décharge d'après celle de la sensation.

Maxwell mourut en 1879 des suites d'une maladie. Nous possédons encore au Laboratoire Cavendish quelques reliques de son époque. Parmi ceux-ci, citons l'appareil qu'il employait pour étudier la viscosité des gaz, l'appareil pour le mélange des couleurs, deux toupies dynamiques, un modèle des anneaux de Saturne et un électroscope qui avait appartenu à Wollaston.

Maxwell était venu à la chaire Cavendish précédé d'une réputation de professeur et de chercheur solidement établie. Le titulaire suivant vint en amateur. L'honorable R. J. Strutt se trouvait à Cambridge lorsque la chaire avait été fondée et était l'un de ceux qui avaient contribué à persuader Maxwell à s'y laisser nommer. Ayant hérité le titre de Lord Rayleigh, il s'était retiré dans son domaine de Terling, en Essex, où il s'était monté un laboratoire. Il avait eu une brillante carrière à Cambridge et était l'auteur de quelques publications originales remarquées. Il fut nommé professeur en 1879 et vint immédiatement occuper son poste.

L'équipement qu'il trouva fut loin de le satisfaire. Il est probable que l'on avait peu ajouté aux appareils originaux et il y avait d'évidentes lacunes. Rayleigh n'appartenait pas à l'école des faiseurs d'appareils. Il employait toujours le dispositif le plus simple et le plus primitif et c'est probablement lui l'instigateur de la tradition « du verre, de la cire à cacheter et de la ficelle » qui devint caractéristique du laboratoire. Malgré cela, poussé par l'intérêt qu'il porta toute sa vie à l'acoustique, il signala que le laboratoire ne possédait pas d'instrument de musique ni — lacune plus grave encore — de machine motrice. Rayleigh ouvrit aussitôt une souscription, à laquelle il contribua lui-même généreusement, pour compléter l'équipement du laboratoire. Il créa aussi l'atelier, ce complément indispensable du laboratoire, dont l'utilité s'est régulièrement accrue avec les années. Il

FIGURE 3 – *Entrée du Laboratoire Cavendish, montrant les nouveaux bâtiments au fond.*
(Avec l'autorisation de Longmans, Green & Co. Ltd.)

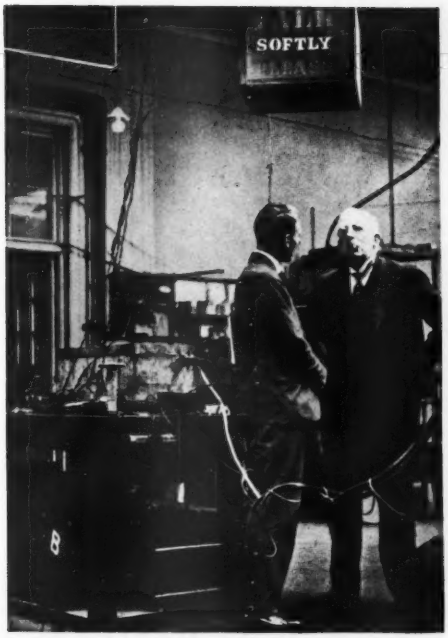


FIGURE 5 – *Lord Rutherford avec un membre du personnel de son laboratoire.*
(Extrait de Rutherford *par A. S. Eve, Cambridge University Press.)*

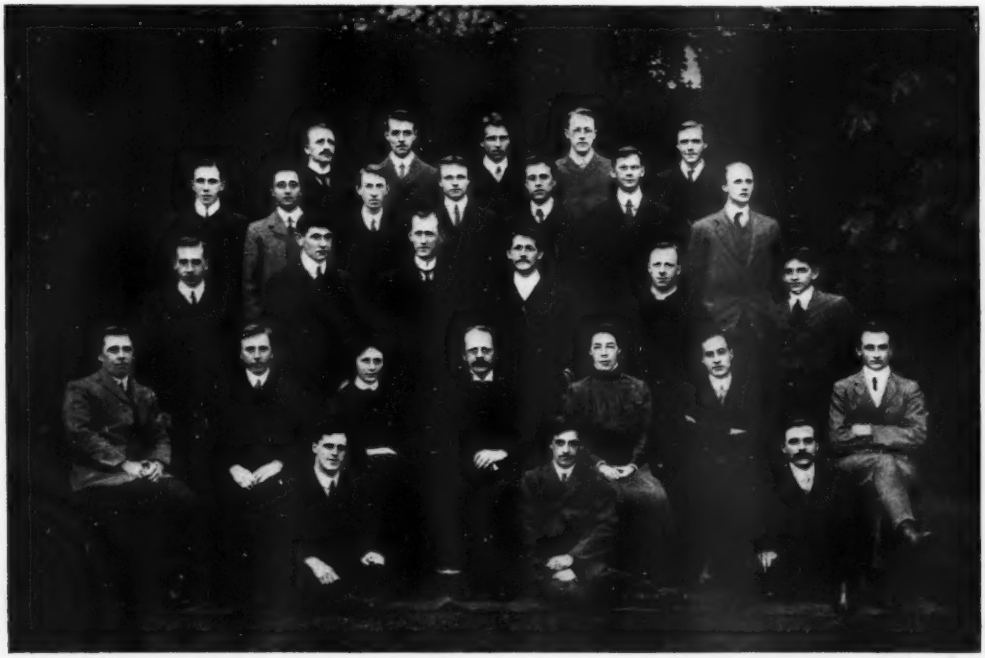


FIGURE 4 – *Etudiants du Laboratoire de recherches en* 1909. *(Avec l'autorisation de Longmans, Green & Co. Ltd.)*

En haut: L. Vegard, G. Stead, J. R. Wilton, H. H. Paine, G. I. Taylor.
Deuxième rang: H. Thirkill, R. Whiddington, L. Southerns, J. M. Adams, E. M. Wellisch, C. S. Wright, R. T. Beatty,
Troisième rang: G. W. C. Kaye, T. .H Laby, H. Erikson, W. Borodowsky, H. V. Gill, D. M. Bose.
Quatrième rang: J. A. Crowther, F. Horton, D. B. Pearson, Sir J. J. Thomson, E. R. Laird, N. R. Campbell, J. Satterly.
En bas: A. Ll. Hughes, J. A. Orange, R. Kleeman.

FIGURE 6 – *Le Royal Society Mond Laboratory.*

n'introduisit pas de changements marqués dans l'enseignement du laboratoire. Il prit sa part des cours et des travaux pratiques faits à des classes de plus en plus nombreuses: les préparateurs Glazebrook (plus tard directeur du National Physical Laboratory) et Shaw (qui devint directeur du Meteorological Office) instituèrent le système d'enseignement à l'aide de manuscrits, employé depuis lors et qui a servi de base au *Practical Physics* de Glazebrook et Shaw, au *Practical Physics* de Bedford, ainsi qu'à l'*Experimental Elasticity* et à l'*Experimental Optics* de Searle. L'admission des femmes au laboratoire date également du temps de Rayleigh (1882).

Des travaux effectués par Rayleigh durant son professorat le plus célèbre est celui qui a trait à la standardisation de l'ohm par la bobine tournante. L'appareil qu'il employa est toujours au laboratoire et une plaque de cuivre marque le pilier de brique sur lequel la bobine fut montée, dans la pièce du fond, au rez-de-chausée. C'est là aussi que plus tard, on monta l'appareil employé par J. J. Thomson pour la détermination de la charge de l'électron et, plus tard encore, celui qu'employa Rutherford pour ses expériences sur la désintégration du noyau atomique. L'intérêt du laboratoire au temps de Rayleigh portait surtout sur la détermination des unités électriques mais il a toujours fait preuve dans ses travaux personnels d'un éclectisme et d'une étendue de connaissances qui ne pourront plus être atteints à une époque de spécialisation de plus en plus poussée. En 1884 Rayleigh accepta le poste de professeur à la Royal Institution, beaucoup moins lourd que la chaire de Cambridge de laquelle il démissionna. La nomination du successeur de Lord Rayleigh créa quelque surprise. Joseph John Thomson sur qui se porta le choix des électeurs, n'avait que 28 ans et était considéré surtout comme un mathématicien. La sagesse du choix ne peut être mise en doute maintenant, malgré le fait que Thomson — universellement connu sous le nom de « J.J. »—, ne fut jamais un physicien expérimentateur. Il n'avait aucune habileté pour construire ou manipuler des appareils, mais il les comprenait, et son intérêt était entièrement tourné vers la physique.

En 1894, l'université prit une mesure qui affecta par la suite tout le développement de la science à Cambridge. Le diplôme du B.A. (Licencié-ès-arts) fut mis à la portée d'étudiants diplômés d'autres universités et qui venaient à Cambridge pour deux années « d'études avancées » ou de recherche. Cette mesure ouvrit une nouvelle porte par laquelle afflua un courant régulier « d'étudiants en recherche scientifique », venus

non seulement des universités britanniques, mais encore des Dominions, des Etats-Unis, des Indes et de bien d'autres pays. Les premiers arrivés au Laboratoire Cavendish furent Ernest Rutherford, venu de Nouvelle-Zélande, Townsend et Mc'Clelland d'Irlande, et Craig Henderson de Glasgow. Petit à petit « J.J. » constitua avec les physiciens ainsi formés une école de recherche et au début de la guerre de 1914 il avait une quarantaine d'étudiants diplômés faisant de la recherche sous sa direction. Généralement c'était lui qui proposait le sujet des recherches et il en suivait les progrès presque au jour le jour. La plupart des questions étudiées se rattachaient à la nature et au mécanisme de la conduction de l'électricité à travers les gaz, et il existait entre « J.J. » et son équipe les rapports les plus agréables, faits d'affection et de respect.

Thomson lui-même apporta des contributions remarquables à la question, en particulier sur l'identification de l'électron dans ses diverses manifestations, la mesure de sa masse et de sa charge et l'explication du mécanisme de la conduction électrique des gaz. En reconnaissance de ces diverses découvertes le public surnomma bientôt Thomson « l'homme qui a divisé l'atome ». Son dernier travail sur les rayons positifs est plutôt une contribution à la question qu'une étude complète du sujet.

Le laboratoire fut agrandi en 1908 grâce à la générosité de Lord Rayleigh qui fit don au Laboratoire Cavendish du montant du prix Nobel qui venait de lui être décerné. Tous progrès furent arrêtés en 1914 lorsque la guerre éclata; cette date marque en effet la fin d'une époque car J. J. Thomson fut élu Maître de Trinity en 1918 et le nombre des devoirs qui lui incombèrent comme directeur d'un grand collège l'obligèrent, en 1919, à donner sa démission de professeur, et, tout en continuant à travailler au laboratoire, il se consacra surtout aux intérêts et aux occupations de sa nouvelle charge. Non seulement il établit la réputation du Laboratoire Cavendish en tant que laboratoire de recherche, mais il fut un conférencier brillant et énergique et apporta également sa contribution au côté enseignement. Il fut fait chevalier en 1908.

Si l'élection de Thomson à la chaire de professeur, en 1884, avait causé une certaine surprise, celle d'Ernest Rutherford en 1919 était pour ainsi dire prévue. Il s'était fait une grande réputation d'abord comme chercheur au Laboratoire Cavendish puis comme professeur à Montreal, puis à Manchester. Dans le domaine de la radioactivité il avait établi le fait qu'il se produisait une transmutation réelle et spontanée des éléments et il avait expliqué les diverses radiations émises au cours du processus. Il avait également formulé la théorie nucléaire de l'atome. D'une façon générale, Rutherford continua la tradition établie du laboratoire mais en la développant et en l'enrichissant. Il continua à attirer les étudiants diplômés de toutes les parties du monde et grâce à l'importance nouvelle donnée à la physique dans l'examen du Tripos de Cambridge et à l'institution d'un diplôme de docteur en philosophie, il lui fut possible en outre d'encourager un nombre de plus en plus grand d'étudiants diplômés de Cambridge à entreprendre des recherches. Le grand mot était maintenant « le noyau » et quelques mois avant d'entrer en fonctions, Rutherford avait réussi à désintégrer l'atome d'azote, utilisant comme projectiles les particules émises par des sources radioactives. Plus tard il put utiliser des protons artificiellement accélérés pour produire des changements dans le noyau atomique et il put ainsi partiellement contrôler des transmutations d'éléments.

Sa mort, survenue en 1938, en pleine vigueur physique et mentale, après une courte maladie, fut une très grande perte pour le laboratoire, l'université et le monde scientifique tout entier. Pendant la durée de son professorat il y avait eu de grands changements dans le laboratoire. En 1932 un nouvel atelier avait été créé sur le site de l'ancien laboratoire de mécanique; en 1933 un nouveau laboratoire pour l'enseignement de l'électricité avait été équipé; en 1934 la section de cristallographie était rattachée au Cavendish; en 1936 on avait terminé le nouveau laboratoire de hautes tensions. Durant cette période les brillants travaux sur les champs magnétiques intenses et les très basses températures du physicien russe P. Kapitza amenèrent la construction du Royal Society Mond Laboratory dont il fut directeur jusqu'en 1934.

Cependant, l'acquisition la plus importante du « Cavendish », bien que due aux travaux et à la personnalité de Rutherford, ne se matérialisa qu'après sa mort. En 1936, Lord Austin offrit à l'université « des valeurs de £250.000 pour construire et doter un bâtiment supplémentaire ». Les travaux furent commencés en 1938 et l'édifice fut à peine complété avant qu'éclata la guerre.

En 1938, W. L. Bragg (maintenant Sir Lawrence Bragg) fut désigné comme successeur de Rutherford.

Le vol des poissons volants

G. S. CARTER

Le vol des poissons volants a été étudié de longue date par les biologistes. Cependant, tant que les observations n'ont été faites qu'à l'oeil nu il a été impossible d'arriver à des conclusions satisfaisantes. Le Dr Carter qui s'est livré à des recherches originales sur la question, montre ici que l'on s'est rapproché de la solution du problème par l'emploi de méthodes photographiques et par application des principes de l'aérodynamique.

STRUCTURE ET APPARENCE

Les poissons volants que nous observons du pont d'un navire ne sont pas les seules qui existent dans la nature. Il y a au moins quatre types de poissons qui volent ou planent plus ou moins habilement. Mais les plus faciles à observer et les plus experts dans l'art du vol sont les *Exocoetidae*, le poisson volant commun. Nous n'étudierons que cette famille et, parmi ceux-ci, seulement les formes les mieux adaptées, tel le *Cypselurus* qui est l'un des genres le plus facile à observer d'un bateau. Ce poisson présente en même temps des nageoires pelviennes et pectorales adaptées au vol, ce qui n'est pas le cas pour d'autres types de la même famille.

Les *Exocoetidae* sont des poissons très rapides et qui ont une vie très active près de la surface de la mer; ils se nourrissent de petits poissons et d'autres animaux vivant à la surface de l'eau. Leur corps est parfaitement adapté à leur genre de vie: ils présentent une ligne strictement profilée, assez semblable à celle du maquereau, et leurs yeux sont grands (figure 2).

Ils présentent de nombreux signes d'adaptation au vol — leur corps profilé y est aussi bien adapté qu'à la nage rapide. La surface abdominale du corps est aplatie de façon à donner une poussée supplémentaire. La queue a pris une forme inusitée chez les poissons. Elle est en forme de V, ce qui est courant, mais la branche inférieure du V est près d'une fois et demie plus longue que la branche supérieure. Cette conformation joue un rôle essentiel dans le vol. La paire de nageoires qui sert d'ailes au cours du vol est évidemment celle qui a subi l'adaptation la plus importante. Les nageoires pectorales (figures 3 et 4) ont une longueur égale environ aux deux-tiers de celle du corps et, en extension, une surface supérieure au double de la surface abdominale. Lorsque le poisson nage, elles restent allongées le long du corps, mais au cours du vol elles sont étendues et s'avancent jusqu'à une position presque transversale (figure 7). Leur surface dorsale est constituée par une fine membrane supportée par dix à douze branches rayonnantes partant de la surface abdominale de la membrane et qui présente, vue en coupe, une forme très particulière, courbée vers l'arrière. Une ligne joignant les extrémités abdominales des rayons donne avec la membrane une bonne section de surface portante. Les nageoires pelviennes sont beaucoup plus petites et présentent plus ou moins la forme d'un quadrilatère. Leur structure est comparable à celle des nageoires pectorales.

LE VOL

Au début du vol le poisson fend la surface de l'eau à la vitesse atteinte en nageant et que l'on estime être de l'ordre de 25 à 30 km à l'heure (figure 5*a*). La photographie a montré que le poisson est presque parfaitement horizontal quand il émerge (Edgerton et Breder) [3]. Aussitôt qu'il est dans l'air il étend ses nageoires pectorales, mais les nageoires pelviennes restent encore fermées. Il en résulte — la queue étant moins supportée que la tête — que le corps prend une position inclinée sur l'horizontale (environ 15°) (figures 5*b*, 6), le grand lobe abdominal de la queue restant dans l'eau. Pendant une durée de ½ à 1 seconde, le poisson « hydroplane » dans cette position à la surface de l'eau et, ce faisant, sa queue vibre rapidement dans l'eau (figure 6) à environ 50 battements par seconde. Sa vitesse croît ainsi jusqu'à ce qu'il ait atteint sa vitesse aérienne. Les valeurs indiquées pour celle-ci varient entre 55 et 90 km/h. Des photographies cinématographiques (Carter et Mander, 1935) [2] ont donné pour la vitesse des chiffres variant entre 40 à 50 km/h, mais ceux-ci se rapportent probablement à la fin du vol, étant donné la difficulté qu'il y a à cinématrogaphier le début, et 60 km/h est probablement un chiffre assez voisin de la vitesse initiale du vol plané.

Au cours de la période « d'hydroplanage » la

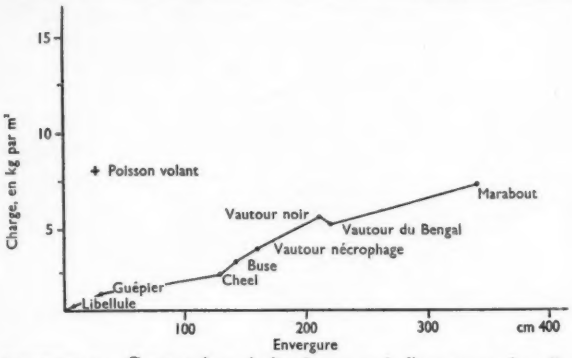


FIGURE 1 – *Comparaison de la charge et de l'envergure des ailes pour le poisson volant et pour certains animaux dont les ailes battent en cours de vol.* (*Reproduit d'après Hankin.*)

vibration de la queue peut créer un frémissement passif de la partie antérieure du corps et, en particulier, des nageoires pectorales. C'est probablement ce frémissement qui a conduit certains observateurs à dire que les nageoires battaient. Il n'y a pas de preuve certaine de battement actif pendant cette période et il n'y en a certainement pas non plus durant les derniers moments, car les nageoires ne présentent aucun flou, même sur des clichés à exposition assez longue.

Lorsque la vitesse aérienne est atteinte les nageoires pelviennes sont étendues, le corps reprend une position plus voisin de l'horizontale — il présente une inclinaison d'environ 6° — et la queue sort de l'eau (figure 5*c*, 7). Le poisson plane dans cette position, à une hauteur presque constante de 30 cm au-dessus de l'eau et perd de la vitesse. Pour maintenir son altitude avec une vitesse décroissante, l'inclinaison des ailes sur l'horizontale augmente continuellement. Le poisson possède des muscles capables de produire cet effet. Lorsque la vitesse aérienne est perdue, le poisson retombe directement dans l'eau ou bien les nageoires pelviennes se referment, la queue s'abaisse et le poisson regagne de la vitesse en faisant vibrer sa queue dans l'eau (figure 5*d*). Il s'ensuit un nouveau vol plané (figure 5*e*). Cette dernière façon de faire est très commune et l'on a pu constater jusqu'à dix vols planés successifs.

Le vol plané normal peut durer jusqu'à 3 ou 4 secondes mais est souvent beaucoup plus court. Hubbs qui a observé de nombreux vols donne comme moyenne 2,6 secondes, sans compter l'hydroplanage initial. Mais de bons observateurs ont signalé des vols de 10 ou même 13 secondes (Hubbs) [5]. Toutefois, ceux-ci sont rares. La longueur du vol est naturellement variable avec la force et la direction du vent. Dans une atmosphère calme un vol moyen atteint probablement 36 à 45 m, bien que l'on ait souvent signalé 90 m. Les vols exceptionnels durant 10 secondes sont

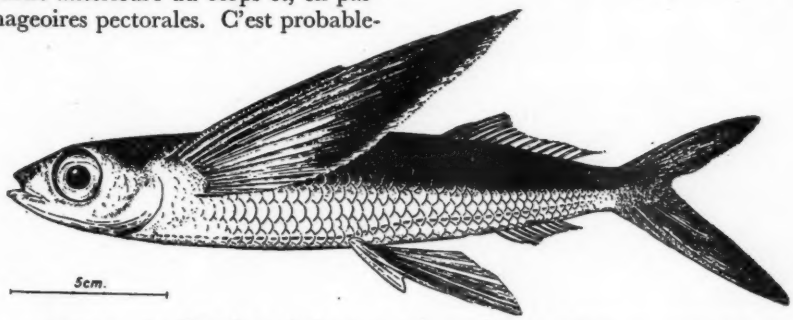


FIGURE 2 – Le Cypselurus lutkeni, *un poisson volant caractéristique.* (*D'après Bruun.*)

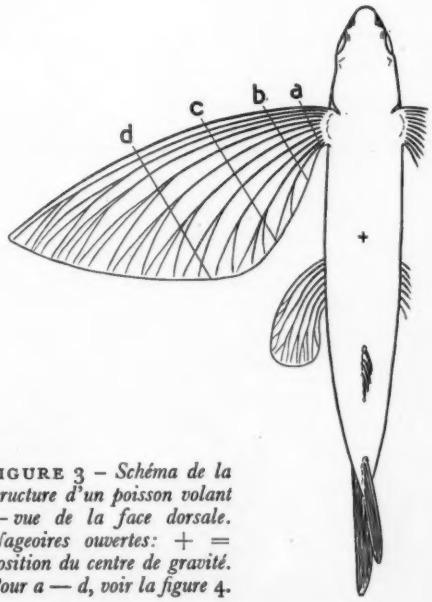


FIGURE 3 – *Schéma de la structure d'un poisson volant — vue de la face dorsale. Nageoires ouvertes: + = position du centre de gravité. Pour a — d, voir la figure 4.*

FIGURE 4 – *Sections transversales des nageoires pectorales pour les positions marquées a — d sur la figure 3.*

beaucoup plus étendus. A la fin du vol la vitesse est d'environ 40 km/h.

ÉTUDE AÉRODYNAMIQUE

On devrait pouvoir calculer, en se basant sur des principes établis d'aérodynamique, à quelle distance et à quelle vitesse le poisson pourrait planer, en expérimentant dans un tunnel aérodynamique avec le poisson lui-même ou un modèle. Shoulejkin a été le premier à faire des expériences de ce genre (1929) [6] et il employait une reproduction du poisson. Il trouva que la vitesse du modèle dépassait 37 km à l'heure et qu'avec une vitesse initiale de 55 km/h il planerait pendant 6,2 secondes en parcourant 57 m, chiffre plutôt plus élevé que celui d'un vol plané moyen, mais bien inférieur aux vols exceptionnels de 10 secondes et plus.

Toutefois un modèle ne peut jamais reproduire exactement l'animal. Il lui manquera les infimes détails structuraux et sera ainsi plus lisse, présentant de ce fait une résistance moindre: il volera donc plus longtemps. En particulier, les ailes du modèle de Shoulejkin étaient de simples membranes et il nous semble que la structure particulière de l'aile, telle que l'indique la figure 4, doit jouer un rôle dans la performance. Pour cette raison et d'autres encore, il a paru utile de voir ce que le poisson lui-même ferait dans le tunnel aérodynamique.[1] Mais ces observations présentaient quelques difficultés. Nous n'avions que des poissons conservés et la fine membrane rétrécit par conservation de sorte qu'elle ne peut être étendue à la superficie qu'elle atteint normalement en cours de vol. Pour parer à cette difficulté, les membranes des nageoires pectorales et pelviennes furent enlevées et remplacées par de la cellophane ayant la superficie désirée, les branches des nageoires étant collées à la cellophane dans leurs positions naturelles respectives. Des fils, partant des extrémités antérieures des nageoires et aboutissant à des épingles enfoncées plus en avant dans le corps du poisson, maintenaient les nageoires ouvertes. Le poisson était suspendu à l'aide de fils partant des extrémités antérieures des nageoires et par d'autres partant du corps, juste en avant de la queue.

On obtient ainsi une assez bonne reproduction de la position du poisson en cours de vol. Une autre difficulté provient du fait qu'avec le poisson

[1] C'est au Dr L. G. Whitehead, de Queen Mary College, Université de Londres, que je suis redevable de la possibilité d'effectuer ces expériences, ainsi que d'une aide précieuse dans leur exécution.

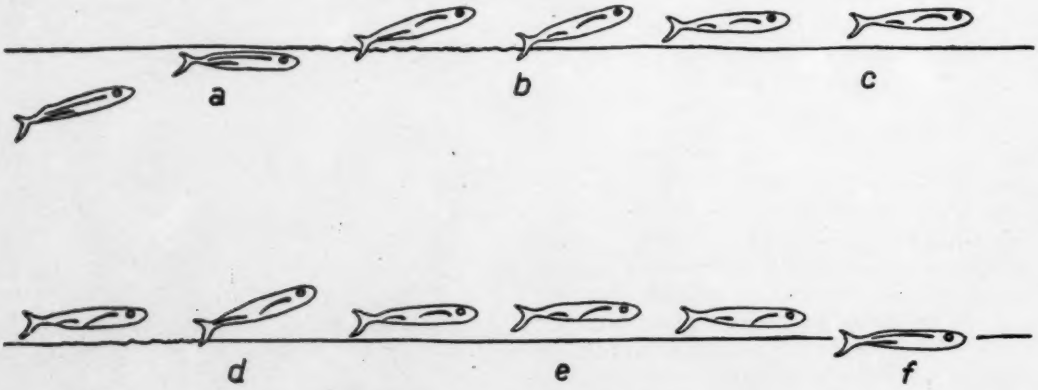


FIGURE 5 – *Diagramme d'un vol.*

a) *position précédent immédiatement l'émersion.*
b) *l'«hydroplanage».*
c) *vol plané avec augmentation progressive de l'inclinaison des ailes.*
d) *nouvel «hydroplanage».*
e) *deuxième vol plané.*
f) *retour à l'eau.*

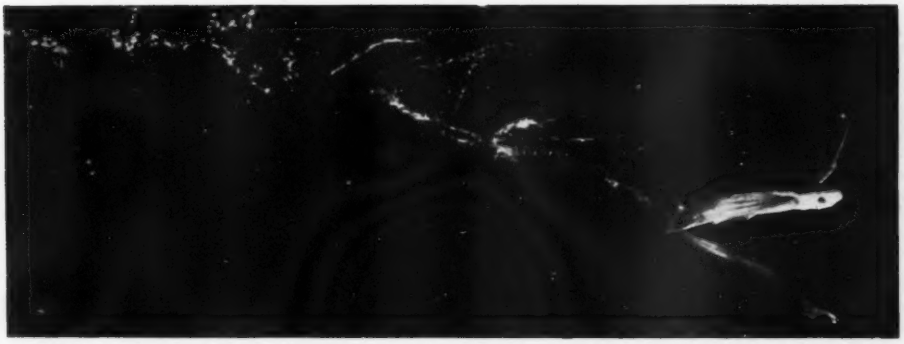


FIGURE 6 – *Photographie d'un poisson pendant l'hydroplanage, montrant l'angle du corps à l'horizontal, les nageoires pelviennes fermées et la trace en forme de V dans l'eau.* (*D'après Edgerton et Breder.*)

FIGURE 7 – *Un poisson pendant le vol, montrant la forme des ailes et des nageoires pelviennes étendues.* (*D'après Edgerton et Breder.*)

conservé on ne peut retourner les nageoires vers le corps, comme dans le cas du poisson vivant. Shoulejkin n'a pas tenu compte de ce fait. Afin de se rapprocher davantage, à ce point de vue, des conditions naturelles, nous avons effectué deux séries d'expériences. Nous avons d'abord mesuré la poussée et la résistance à différents angles en retournant le poisson tout entier, corps et nageoires. Nous enlevâmes ensuite les nageoires et refîmes les mêmes observations avec le corps seul. Il nous fut possible en combinant ces deux séries de résultats, de calculer la performance pour des inclinaisons différentes des nageoires, le corps étant maintenu à 6° par rapport à l'horizontale, qui est son inclinaison dans le vol naturel.

On ne peut s'attendre à ce que le poisson, tel que nous l'avons monté, donne d'aussi bons résultats qu'à l'état naturel puisqu'il est bien évident que le poisson vivant est capable de régler l'inclinaison et la cambrure de ses ailes avec beaucoup plus de précision que nous ne pouvons le faire. De plus, un poisson vivant est certainement plus lisse qu'un poisson conservé et offrira une résistance beaucoup moins grande. Nous ne pouvons pas non plus espérer obtenir d'aussi bons résultats que ceux de Shoulejkin avec son modèle libre. Si les résultats obtenus par lui étaient meilleurs que ceux observés dans les conditions naturelles, les nôtres devraient évidemment être moins bons.

Nous avons trouvé que le poisson devrait voler à une vitesse supérieure à 40 km/h et que le vol aurait une durée de 1,74 sec et une étendue de 28 m avec une vitesse initiale de 65 km/h. En tenant compte des meilleures performances observées dans la nature, il semble que les vols normaux (avec une moyenne de 2,6 sec et 36 à 45 m) ne soient pas au-dessus des résultats auxquels on peut s'attendre, mais il est bien moins vraisemblable que l'on puisse expliquer les vols exceptionnels de plus de 10 sec sans l'aide de nouveaux facteurs.

Il peut cependant y avoir une explication. On sait que les avions, lorsqu'ils arrivent à proximité du sol, reçoivent une poussée supplémentaire due à un effet de l'air situé entre l'appareil et le sol. Le poisson qui plane se trouve très près de la surface de l'eau et cette action l'aidera probablement jusqu'à un certain point, mais il est encore impossible dans les conditions actuelles de nos connaissances, de dire jusqu'à quel point cette action aide le poisson, ni comment elle varie avec les conditions.

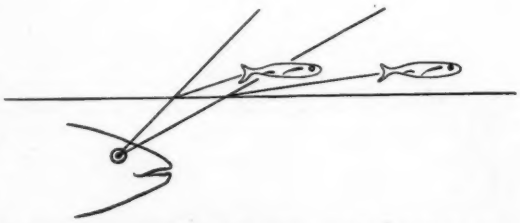


FIGURE 8 – *L'effet de l'émersion sur la vision d'un poisson poursuivant un poisson volant.*

Je suis heureux d'adresser mes remerciements au Dr Edgerton qui m'a permis de reproduire les photographies illustrant cet article.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BRUNN, A. F. «Dana» Reports, 1935, **i**, No. 6.

[2] CARTER, G. S., et MANDER, J. H. A. *Rept. Brit. Assn.*, 1935, Section D, p. 37 (photographies par E. N. Willmer).

[3] EDGERTON, H. E., et BREDER, C. M. *Zoologica*, New York, 1941, **xxvi**, 311.

[4] HANKIN, E. H. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 1922, **xxi**, 421.

[5] HUBBS, C. L. Papers *Mich. Acad. Sci.*, 1933, **xvii**, 575.

[6] SHOULEJKIN, W. *Intern. Rev. Hydrobiol.*, 1929, **xxii**, 102.

La coloration artificielle du pelage et la croissance des poils

ALEXANDER HADDOW et K. M. RUDALL

« Et lorsque nous considérons cette autre théorie des physiciens selon laquelle toutes les diverses couleurs que nous rencontrons sur terre, ornementations somptueuses ou délicates, teintes exquises d'un coucher de soleil ou des bois en automne; oui, même les velours et les ors d'une aile de papillon et la joue duveteuse d'une jeune fille; tout cela n'est qu'apparence, ce n'est pas inhérent à la substance, mais provient de l'extérieur . . . »

Herman Melville: *Moby Dick*

Au cours d'expériences sur la croissance faites dans le but d'étudier l'action d'une série de flavines synthétiques préparées par G. M. Timmis, nous avons découvert par hasard [1] une propriété non encore étudiée de l'un de ces composés (un dérivé de l'alloxazine) [2] dont la figure 3 montre la structure et l'aspect. L'injection de 20 à 30 mg de cette substance à des rats blancs eut l'effet inattendu de produire une pigmentation jaune ou jaune orangée des poils, assez voisine, comme teinte, de celle de la substance elle-même à une dilution moyenne. La figure 1 donne une idée de cette pigmentation qui consiste en une coloration diffuse du dos et des flancs; sur la figure 2, la coloration forme une bande plus marquée le long des flancs.

La coloration n'affecte que certaines régions du pelage, formant un dessin qui varie considérablement dans les détails d'un rat à autre mais qui reste néanmoins conforme à un modèle type dont le caractère le plus marquant est un degré très prononcé de symétrie suivant l'axe longitudinal. L'étude de rats provenant de la même colonie et injectés de la même façon révéla bientôt l'apparition régulière de types de motifs qu'il était relativement facile de classer en une série présentant presque tous les types de transition. Ces faits donnaient l'impression nette d'une certaine unité du dessin dans laquelle le motif obtenu après une seule injection ne représente que le premier stade d'un processus continu. Le problème suivant portait sur la nature du motif et en particulier sur la question de savoir s'il constituait une caractéristique permanente propre à chaque individu. Cette question fut rapidement résolue lorsqu'on observa que de nouvelles zones de pigmentation apparaissaient à la suite d'injections répétées, c'est-à-dire que la forme du motif varie chez le même animal suivant le moment où la substance est injectée. Le dessin dépend donc d'un processus variable et non pas d'un processus fixe, génétiquement ou autrement prédéterminé (*voir* figures 4 et 5).

RELATION ENTRE LE DESSIN ET LA CROISSANCE DES POILS

Si nous admettons momentanément que le pigment des poils provenait de l'alloxazine injectée, il nous faut alors décider ce que peuvent être les facteurs qui déterminent l'apparition du pigment dans certaines régions et pas dans les autres. Un certain nombre de faits indiquaient que le processus fondamental était lié à la régénération des poils et l'on procéda à des expériences destinées à vérifier cette hypothèse. Des rats normaux furent tondus sur le dos et sur les flancs depuis les oreilles jusqu'à la base de la queue et l'on mesura la croissance des poils à des intervalles de quelques jours. Le diagramme I montre les résultats d'une expérience de ce type. Il était évident que la régénération des poils ne se produit, à un moment déterminé, que pour des régions limitées du pelage, que celles-ci sont disposées symétriquement selon un arrangement analogue aux dessins révélés par l'injection d'*iso*-alloxazine et que la diversité de ces dessins est due aux variations de la vitesse de la progression de l'onde de croissance. On observa également que le cycle de l'onde de croissance s'accomplit en une période minimum de six semaines. Ces expériences ont confirmé que le pelage du rat se renouvelle par une série complexe d'ondes régulières. A cette même époque on observa que l'alloxazine produit une coloration aussi bien lorsqu'elle est administrée avec la nourriture et que (ce qui confirme l'interprétation ci-dessus), si l'on continue cette alimentation pendant plusieurs semaines, les régions affectées s'étalent graduellement jusqu'à ce que la pigmentation

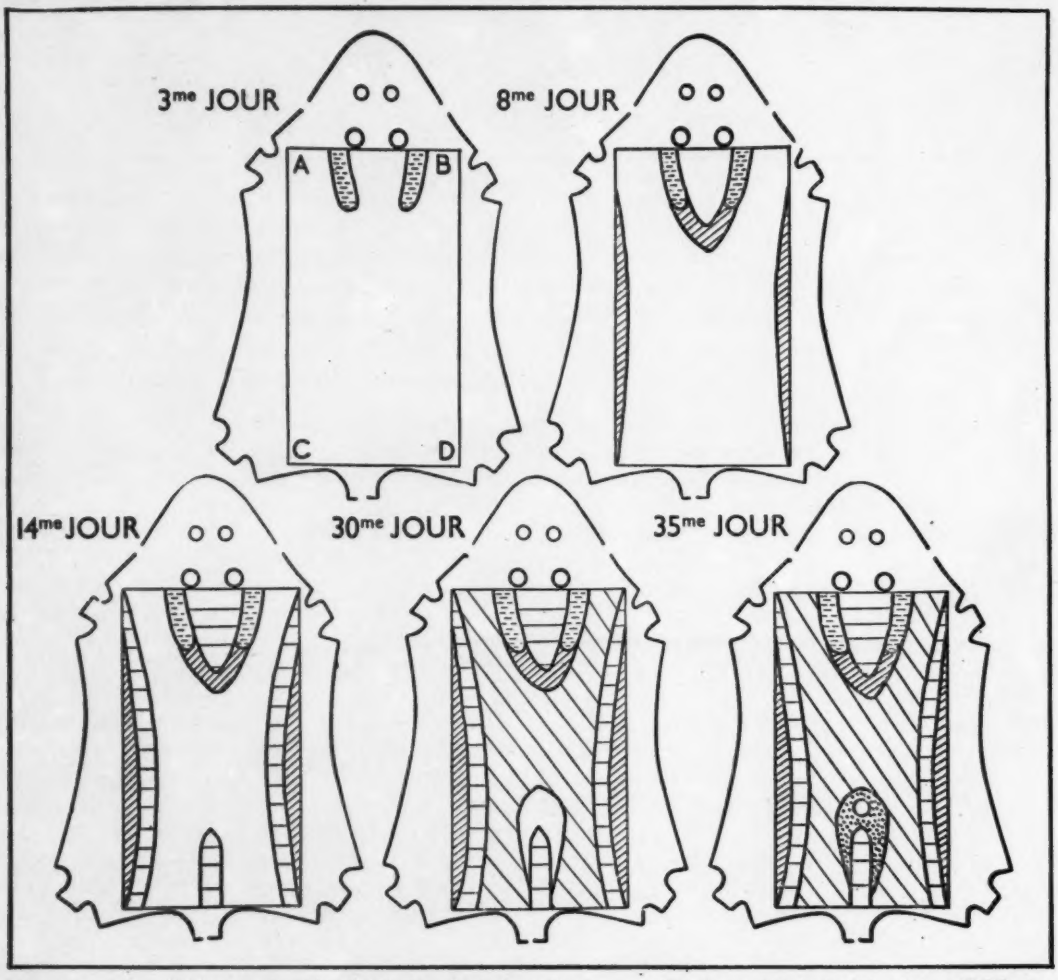


DIAGRAMME I – *Schéma montrant la régénération des poils, 3, 8, 14, 30, et 35 jours après tonte de la région ABCD chez un seul rat. Après 3 jours la croissance est limitée à deux bandes prenant naissance derrière les oreilles. Cinq jours plus tard elles ont convergé et fusionné sur la ligne médiane tandis que d'autres bandes de régénération apparaissent sur les côtés. Après 14 jours, celles-ci se sont étendues, la région comprise dans la fourche antérieure est recouverte, et une bande de croissance s'est formée à la base de la queue. Seize jours plus tard les bandes latérales se sont confondues sur une grande longueur, et le 35me jour la régénération est complète à l'exception d'un petit îlot situé sur la ligne médiane. Les régions portant le même type de hachures sont celles sur lesquelles la croissance se produit en même temps et qui seraient colorées en jaune si l'on injectait de l'alloxazine à ce moment. Noter que le processus reste symétrique.*

devienne pratiquement uniforme. De plus, le colorant absorbé avec la nourriture peut être transmis aux jeunes rats par le lait de la mère.

NATURE DU PIGMENT DES POILS

La figure 7 montre une coupe transversale des poils d'une région pigmentée chez un animal ayant reçu une seule injection. Le pigment jaune n'est présent que dans une certaine proportion des poils (probablement ceux qui sont en état de croissance active); et le pigment se trouve dans le cortex du poil. Il semble donc que la coloration du pelage produite par la 9-phényl-5 : 6-benzo-*iso*-alloxazine soit due à une localisation dans les régions en croissance, de la substance injectée ou d'un de ses dérivés. Ce dernier point fut confirmé par l'examen direct du pigment extrait des poils par L. A. Elson.

Pour l'extraction du pigment, plusieurs grammes de poils colorés furent chauffés dans de l'acide

FIGURE 1

FIGURE 2

Ces rats blancs ont reçu, deux semaines avant d'être photographiés, une injection intrapéritonéale de phényl-benzo-alloxazine, la coloration jaune-orange est apparue environ une semaine après l'injection. Comparer la coloration diffuse inhabituelle du rat à gauche avec la pigmentation de celui à droite limitée à une bande latérale sur chaque flanc.

(Avec l'autorisation des Laboratoires de Recherche Kodak.)

acétique glacial. Après refroidissement, addition de chloroforme et filtration, le filtrat fut lavé à l'eau. La couche de chloroforme, séparée et séchée au sulfate de sodium, fut chromatographiée sur alumine (Spence—Type H). L'examen de la colonne en lumière ultra-violette révéla une bande jaune fortement adsorbée, visible figure 13. Après élution avec du chloroforme contenant 1 pour cent d'acide acétique glacial, la solution chloroformique, débarrassée d'acide acétique par lavage à l'eau, fut séchée et filtrée. E. M. F. Roe examina alors le spectre d'absorption de cet extrait dans l'ultra-violet et le compara avec celui de la substance injectée ainsi qu'avec celui d'un extrait préparé de la même façon à partir de poils normaux. La figure 12 donne le résultat de ce travail. On a pu conclure que le spectre de cet éluat à fluorescence jaune révèle la présence de la substance initiale ou d'un de ses dérivés simples que les conditions de la présente expérience ne permettent pas de différencier. On a également calculé par ce moyen que l'éluat fluorescent de 1 g de poils contenait 0,1 à 0,2 mg de 9-phényl-5 : 6-benzo-*iso*-alloxazine.

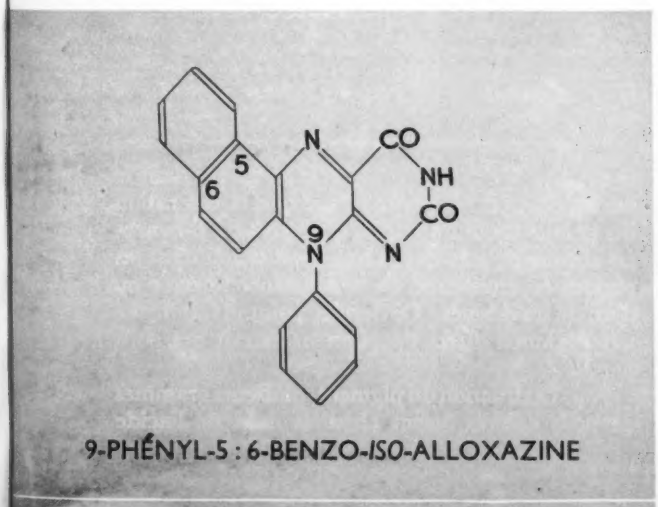


FIGURE 3 – 9-*phényl*-5 : 6-*benzo*-iso-*alloxazine: formule chimique et coloration de la substance donnant une pigmentation du pelage.*

MÉCANISME DE LA LOCALISATION

On a maintenant virtuellement prouvé l'origine du pigment et sa localisation dans les poils. On a pu établir le mécanisme probable de cette localisation au moyen d'une série d'expériences dans lesquelles le système capillaire était rendu visible par injection intra-veineuse de chlorazol bleu. La figure 8 montre la peau d'un rat normal qui avait été tondu quelques jours auparavant; dans ce cas, la régénération se produisait également de chaque côté dans la direction de la ligne médiane au moment où l'animal a été tué après avoir reçu une injection de chlorazol bleu. La figure 9 montre la face inférieure d'après laquelle il est évident que le réseau capillaire est beaucoup plus serré aux emplacements qui correspondent au bord mobile de la zone de régénération. Ce fait qui, à notre connaissance, est passé inaperçu jusqu'ici, suggère que les changements dans le motif formé par les

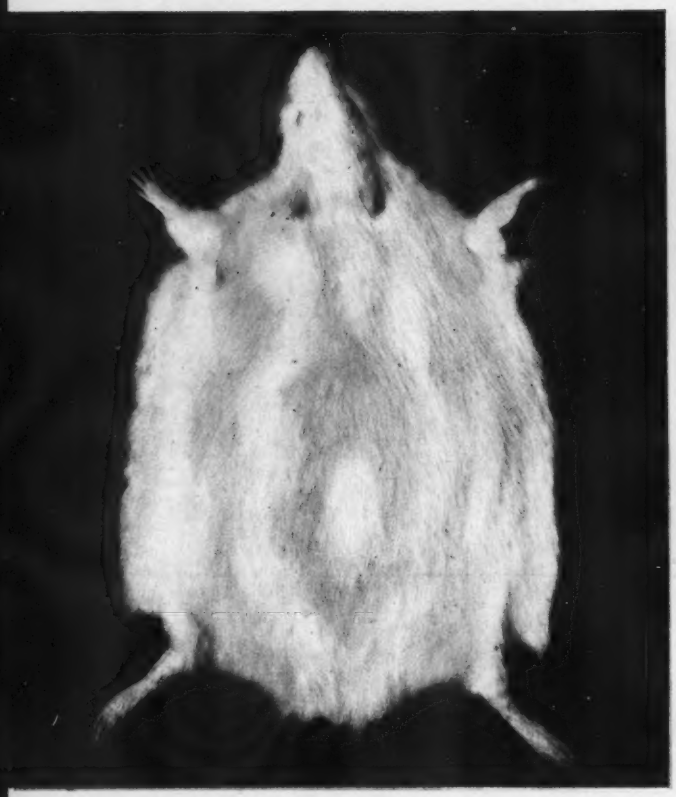


FIGURE 4 – *Peau de rat* ($\times$ 1/2) *montrant la coloration symétrique produite par deux injections intrapéritonéales (à intervalle d'une semaine) de 25 mg de 9-phényl-5 : 6-benzo-iso-alloxazine en solution dans l'huile d'arachide. Dans de nombreux cas les résultats observés après des injections espacées ont montré que le dessin produit n'est pas un caractère propre à chaque animal et qu'il varie avec le moment où l'on injecte l'alloxazine.*

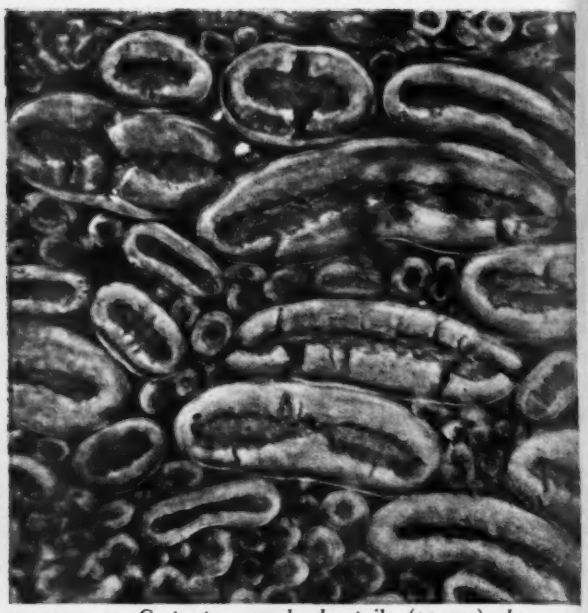


FIGURE 7 – *Coupe transversale des poils* ($\times$ 400) *dans une région colorée, chez un rat ayant reçu une injection. Tous les poils ne sont pas colorés et le pigment est diffusé dans la zone corticale.*

FIGURE 6 (*ci-dessus*) – *Coloration produite à l'origine par absorption d'alloxazine avec le lait maternel — la mère de ce jeune rat a commencé à recevoir de l'alloxazine avec sa nourriture quelques jours après la naissance de ses petits. On a continué l'administration du pigment par voie buccale après le sevrage. Remarquer l'intensité inhabituelle de la coloration et sa large distribution.*

(*Photographié par M. Frank Goulden, A.R.I.C.*)

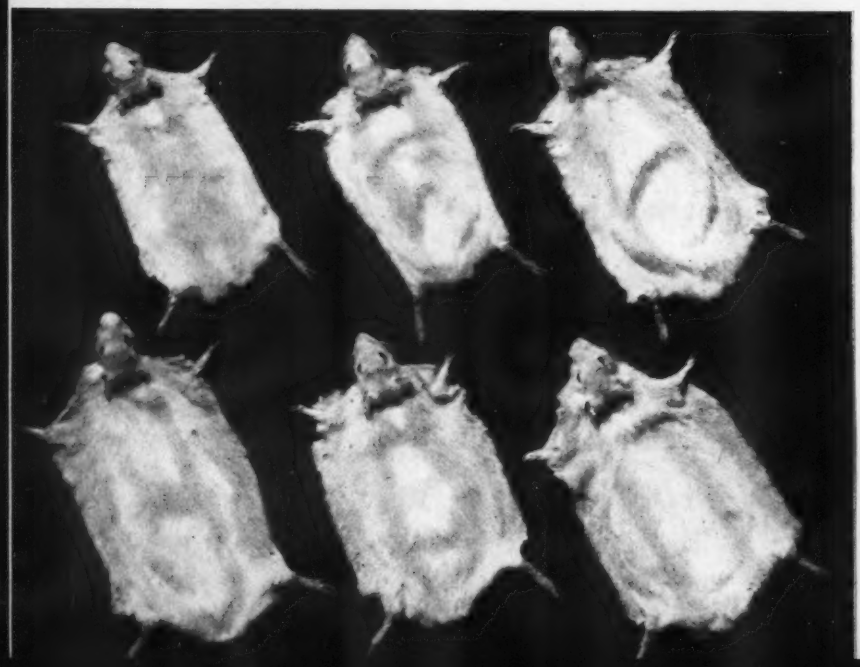


FIGURE 5 (*à gauche*) – *Série de peaux de rats ayant reçu deux injections d'alloxazine à intervalle d'une semaine. Elles sont disposées de façon à montrer la variété des dessins formés et la parenté qui leur est attribuée comme membres d'une même série* ($\times$ 1/4).

FIGURE 8 – *Peau de rat normal tondu quelques jours auparavant. La régénération des poils se produisait uniformément, allant des flancs à la ligne médiane, au moment où l'animal a été tué après injection intra-veineuse de chlorazol bleu* ($\times$ $^2/_5$).

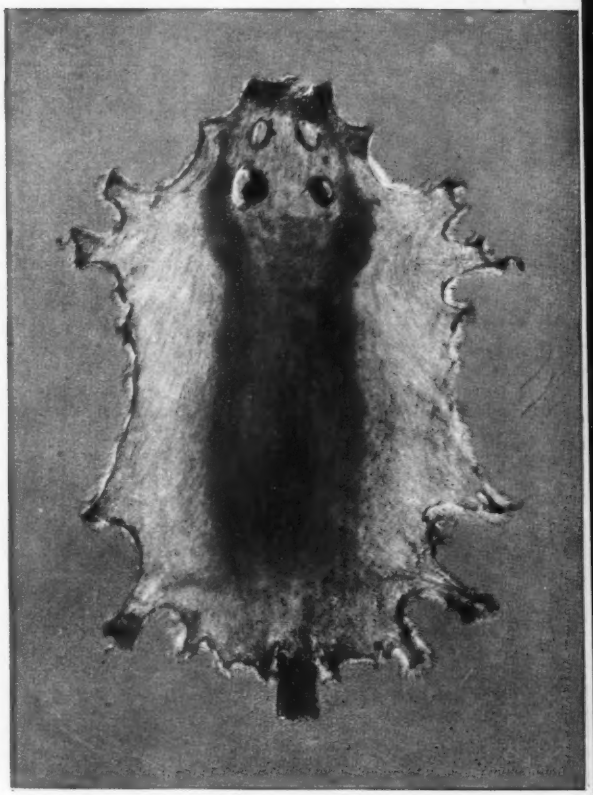


FIGURE 9 – *Face inférieure. L'injection de chlorazol dans les vaisseaux montre que la condensation capillaire est plus grande aux emplacements correspondant au bord mobile de la zone de croissance des poils; comparer avec la figure* 8 ($\times$ $^2/_5$).

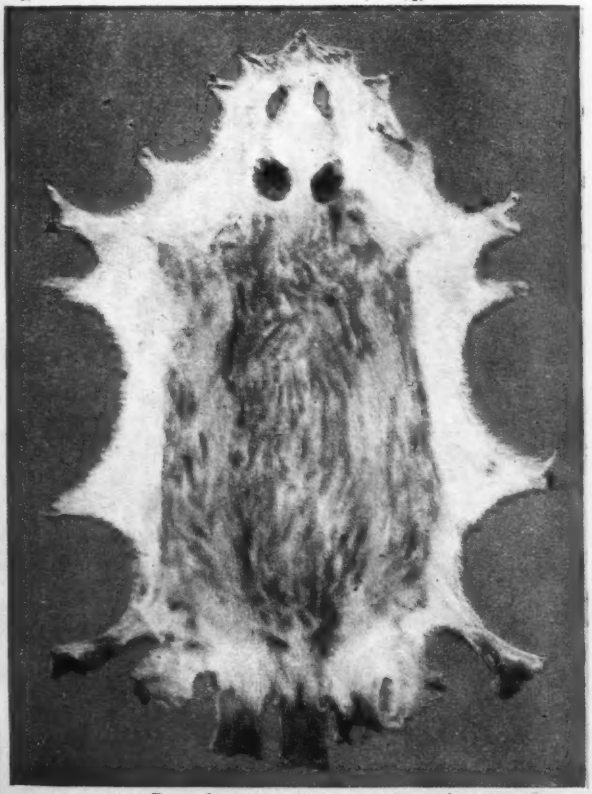
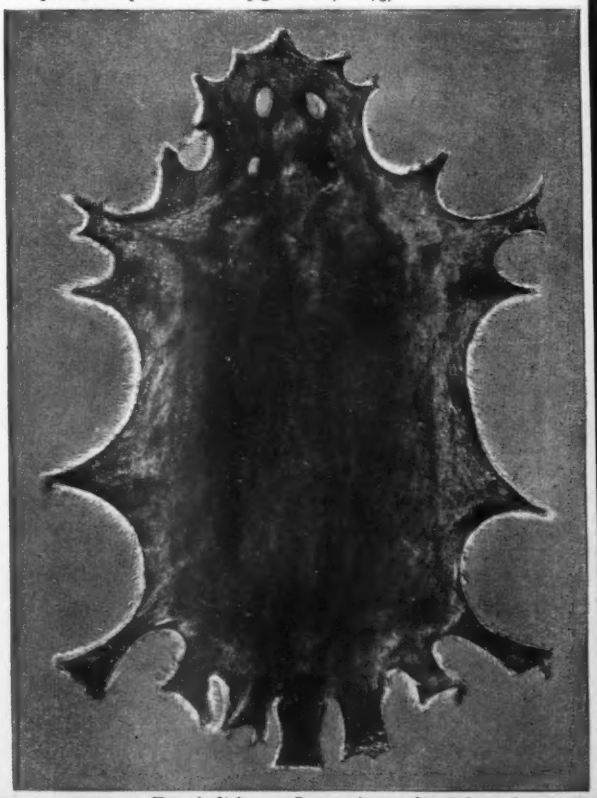


FIGURE 10 – *Peau de rat ayant reçu, après avoir été tondu, une*



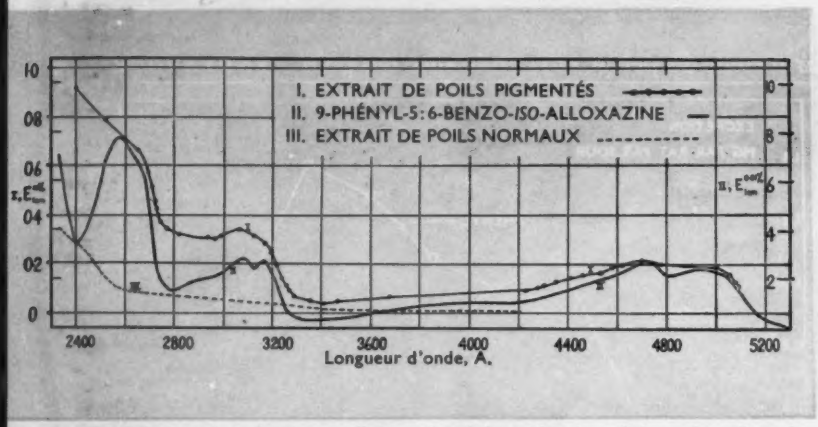


FIGURE 12 – *Comparaison des spectres d'absorption de la 9-phényl-5 : 6-benzo-iso-alloxazine, d'un extrait préparé à partir de poils colorés (solution chloroformique), et d'un extrait témoin de poils blancs normaux. Ces essais indiquent que le pigment présent dans les poils après administration d'alloxazine n'est autre que cette substance elle-même ou un dérivé impossible à différencier spectroscopiquement.*

FIGURE 13 – *Fluorescence (en lumière ultraviolette) du pigment fortement adsorbé obtenu par chromatographie de l'extrait chloroformique final préparé à partir des poils colorés.*

(Photographié par Mlle Hilda Robertson, Royal Cancer Hospital.)

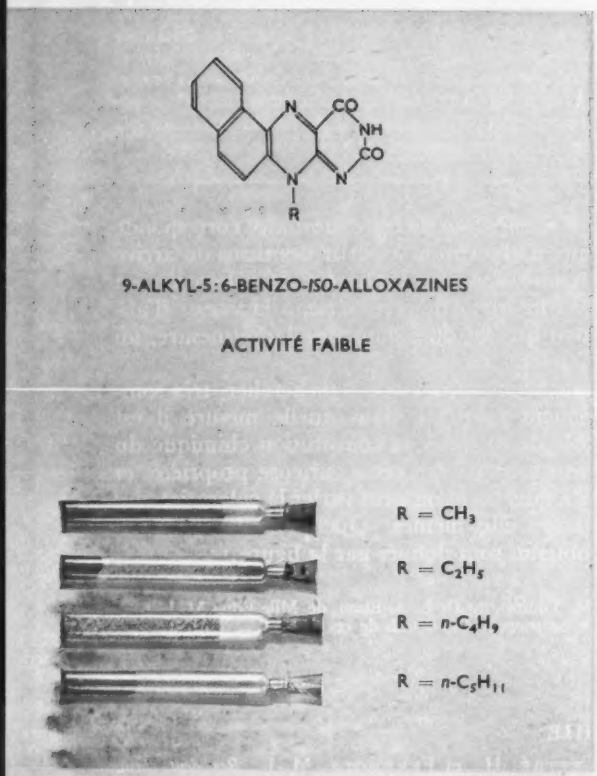


FIGURE 14 – *9-alkyl-5 : 6-benzo-iso-alloxazines — exemples de dérivés n'ayant qu'une faible activité.*

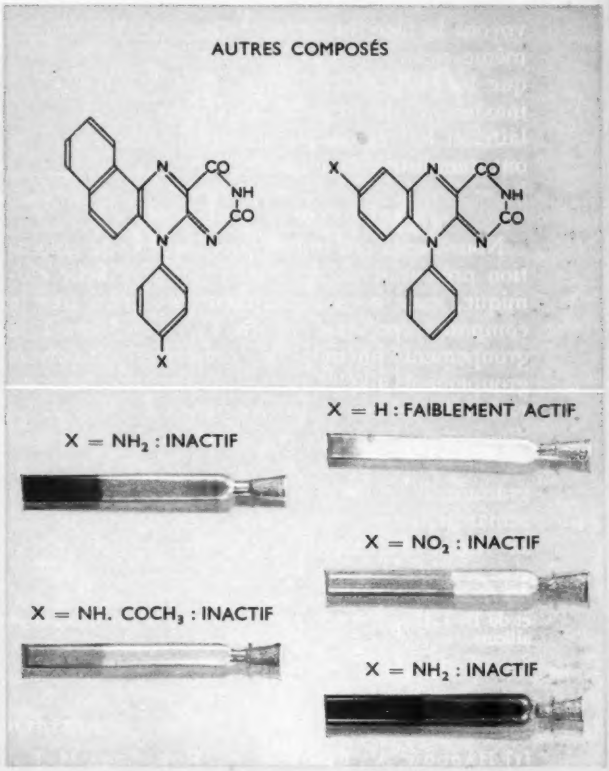


FIGURE 15 – *Résultats des essais effectués avec d'autres substances dérivées de la 9-phényl-iso-alloxazine ou de la 9-phényl-5 : 6-benzo-iso-alloxazine.*

poils en croissance correspondent aux modifications dans la distribution du sang aux follicules pileux. Il est également probable que la présence du pigment dans les régions de croissance est due en partie au fait que ce sont les seules dans lesquelles les échanges avec la circulation générale sont suffisamment actifs. Cette interprétation a été entièrement confirmée par l'examen des capillaires rendus visibles par le chlorazol bleu chez des rats tondus et injectés à l'alloxazine. La figure 10 montre la peau d'un de ces animaux chez lequel, une fois de plus, la pigmentation apparaît seulement dans les régions de croissance active. Dans la figure 11 nous voyons la face inférieure de la même peau, et il est évident que les poils en croissance, le maximum de densité capillaire, et les régions pigmentées ont une distribution identique.

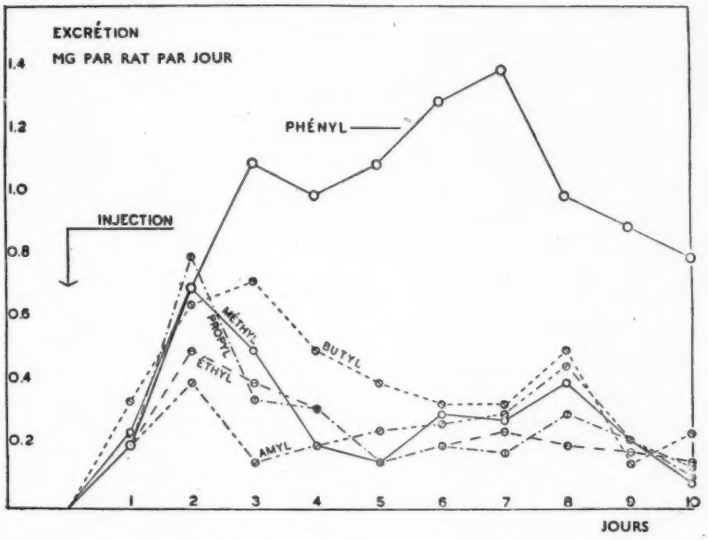


DIAGRAMME II – *Excrétion du pigment dans les fèces et l'urine après une seule injection intrapéritonéale de 30 mg de six 5 : 6-benzo-iso-alloxazines substituées en position 9. Tous ces dérivés sont capables de pénétrer dans les poils en croissance du rat, mais le dérivé phénylé est considérablement plus actif que les dérivés alkylés: on peut constater que sa vitesse d'élimination et le niveau absolu de celle-ci sont et restent plus élevés pendant un temps plus long. Ceci est probablement dû au fait que la substance est beaucoup plus facilement absorbable à partir des tissus, ce qui représente un facteur important de son comportement au point de vue biologique.*

SPÉCIFICITÉ CHIMIQUE

Nous avons cru tout d'abord que cette coloration présentait un degré élevé de spécificité chimique, mais nous avons constaté depuis que le composé représenté figure 14, dans lequel le groupement phényle est remplacé par divers groupements alkylés, peut aussi produire une coloration du pelage, mais avec moins d'intensité. Le diagramme II donne le taux d'excrétion de tous ces composés après injection. D'après ce diagramme il est évident que la substance la plus remarquable par son activité l'est également par sa vitesse d'élimination. Si l'on admet que le taux d'élimination de cette substance corresponde au taux d'absorption à partir des tissus on arrive à la conclusion que l'intensité de coloration est liée, à l'intérieur de cette série, à la vitesse d'absorption qui est due, dans une large mesure, au groupement phényle.

Nous avons commencé à rechercher, très sommairement jusqu'ici, dans quelle mesure il est possible de modifier la constitution chimique du pigment sans perdre cette curieuse propriété, et jusqu'à quel point on peut varier la coloration des substances elles-mêmes. Quelques-uns des résultats obtenus sont donnés par la figure 15.

Nous sommes heureux de mentionner ici la participation de M. G. M. Timmis, du Dr L. A. Elson, de Mlle Edna M. F. Roe, et du Dr I. Hieger dans la partie chimique, biochimique, et physique de ce travail. Les détails de ces recherches seront publiés ailleurs.

BIBLIOGRAPHIE

[1] HADDOW, A., ELSON, L. A., ROE, EDNA M. F., RUDALL, K. M., et TIMMIS, G. M. *Nature*, 1945, **155**, 379.

[2] LETTRÉ, H., et FERNHOLZ, M.-E. *Ber. deut. chem. Ges.*, 1940, **73**, 436.

Les poisons spécifiques

R. E. SLADE

Les organismes vivants présentent des réactions d'idiosyncrasie vis-à-vis de divers composés chimiques; théoriquement il serait donc possible de trouver ou de synthétiser des poisons spécifiques pour chaque espèce animale ou végétale. La réalisation pratique de cette idée offre cependant des difficultés et ce n'est qu'au cours des dix dernières années que l'on a pu faire dans cette voie des progrès de quelque importance. Maintenant encore le mécanisme de la toxicité spécifique est loin d'être clairement expliqué.

Pasteur et Lister ont démontré par leurs travaux que beaucoup de maladies étaient causées par des bactéries ou autres micro-organismes. Partant de ce fait, des recherches furent entreprises pour trouver des substances capables de détruire les organismes, causes de l'infection, sans attaquer les tissus du corps. Lister fit choix du phénol qui lui paraissait offrir la meilleure combinaison de propriétés par son activité germicide élevée jointe à une faible toxicité envers les tissus humains. On arrive à stériliser efficacement au phénol les principales sources d'infection, comme les instruments et les pansements chirurgicaux. Toutefois, l'utilisation du phénol est limitée lorsqu'il s'agit d'attaquer les microbes dans l'organisme même. Il peut être employé dans le cas d'infection locale mais sa toxicité est trop élevée pour qu'il puisse être introduit dans le système sanguin pour combattre les infections généralisées.

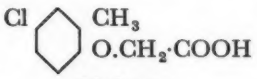
Avant la découverte des sulfonamides Fleming (1928) avait montré que le milieu de culture dans lequel s'était développé une moisissure, le *Penicillium notatum*, pouvait tuer ou lyser certaines bactéries, le staphylocoque en particulier. Plusieurs années plus tard, le problème fut repris et étudié par Florey et Chain qui purent isoler la pénicilline, le principe actif du milieu de culture. Cette substance est fortement spécifique dans son action. Elle présente en même temps une forte toxicité vis-à-vis des bactéries Gram-positives, tels les streptocoques et les staphylocoques, et une toxicité négligeable vis-à-vis des tissus animaux. A ce point de vue elle est donc un agent chimiothérapeutique presque idéal. On a isolé plusieurs autres produits bactéricides provenant de moisissure et doués de propriétés assez spécifiques vis-à-vis des bactéries, mais aucun d'entre eux n'atteint la spécificité de la pénicilline et leur valeur thérapeutique est limitée.

Depuis que l'homme a appris l'art de cultiver les récoltes il s'est heurté au problème important d'empêcher la croissance des mauvaises herbes. Jusqu'à une époque récente, la solution du problème était surtout mécanique, consistant, par exemple, à labourer pour enterrer les mauvaises herbes ou bien à les supprimer par bêchage. Au cours de ces dernières années cependant on a trouvé des substances qui agissent comme poison vis-à-vis de plusieurs sortes de mauvaises herbes sans nuire aux céréales les plus importantes. En 1934, Kögl, Haagen-Smit et Erxleben trouvèrent que l'urine contenait une substance semblable aux auxines et favorisant la croissance des plantes. Ils l'appelèrent Hétéroauxine et l'identifièrent avec l'acide β-indolyl-acétique.

Wendt avait déjà montré que les auxines accomplissaient certaines fonctions essentielles dans la vie végétale et les avait appelées « substances de croissance». Si l'on met une minime quantité d'auxine sur le côté d'une tige en cours de croissance, on constate qu'au bout de quelques heures elle s'est courbée du côté opposé. L'application d'une plus grande quantité provoque la croissance de radicelles sur cette tige. Des recherches sur des substances telles que l'acide α-naphtyl-acétique, ont mis en évidence des propriétés biologiques analogues.

En 1937, Grace, en Canada, montra que l'on pouvait tripler la production de laitues sur certains terrains par application d'acide α-naphtyl-acétique à raison de 370 mg par ha. Il montra également que des applications plus fortes diminuaient le rendement. En Grande-Bretagne, Templeman et Marmoy confirmèrent que de fortes applications diminuaient le rendement mais que sur leurs terrains l'emploi de faibles quantités ne produisirent pas l'amélioration signalée. Slade et Templeman décidèrent d'essayer d'utiliser l'acide α-naphtyl-acétique pour empêcher la croissance de moutarde sauvage dans les récoltes de blé et Templeman constata des résultats excellents à la dose de 28 kg par ha, tandis qu'il n'y avait

pratiquement aucun effet sur le blé, l'avoine et l'orge. Cette spécificité n'était pas surprenante puisque les substances de croissance se comportaient différemment au point de vue de la pousse de radicelles sur des boutures de diverses plantes et la toxicité de l'acide α-naphtyl-acétique n'était pas inattendue puisque, même en faible quantité, il provoque des excroissances des plus anormales sur les plantes. L'application d'acide α-naphtyl-acétique en grande quantité comme herbicide est trop coûteuse mais on a trouvé depuis que de nombreuses substances possédaient les mêmes propriétés. Templeman a montré que plusieurs substances d'une série préparée par Sexton étaient bien plus toxiques vis-à-vis des mauvaises herbes que l'acide α-naphtyl-acétique tout en étant quand même sans action nocive sur les céréales à la concentration qui tue les mauvaises herbes. L'un de ces corps, l'acide 2-méthyl-4-chlorophénoxyacétique a été fabriqué commercialement comme herbicide sous le nom de « methoxone ».



Methoxone

Ce composé tue la plupart des mauvaises herbes dans les champs de blé si on l'emploie à la dose de 0,5 à 2 kg par ha.

On sait que les auxines, substances naturelles de croissance des plantes, agissent de diverses façons. Elles n'ont pas d'action sur la division cellulaire mais elles produisent une extension plastique des parois cellulaires; la cellule s'allonge ensuite par osmose. Les auxines provoquent la croissance des boutures de plantes vers le haut, et celle des racines vers le bas. C'est grâce à elles que les plantes s'inclinent vers la lumière la plus forte. Lorsque ces substances se trouvent dans le sol elles empêchent la croissance des racines. Etant donnés ces effets variés il n'est pas surprenant que, si l'on fournit aux plantes en quantités relativement fortes des substances synthétiques douées d'activité similaire, l'économie de celles-ci soit fortement modifiée. Toutefois on ne peut encore expliquer de façon satisfaisante les grandes différences de sensibilité des plantes vis-à-vis de ces substances. Elles sont probablement dues à des capacités d'absorption différentes de leur protoplasme. Leur valeur en tant que substances destructrices des mauvaises herbes est due au fait que les monocotylédones auxquelles se rattachent les herbes, le blé, l'avoine, le seigle et l'orge, sont en général beaucoup moins sensibles que les dicotylédones qui poussent parmi eux comme mauvaises herbes.

Beaucoup d'insectes sont des parasites gênants. Citons parmi ceux qui s'attaquent à l'homme les mouches, les moustiques, les puces, les poux et les punaises de lit. Les tiques, les mouches à viande, les puces et les poux s'attaquent aux animaux. Les locustes, les charançons, les acariens et les pucerons détruisent les récoltes, tandis que les lépidoptères, les charançons et les cancrelats détruisent les produits entreposés. Il y a donc un besoin urgent de poisons pour détruire ces insectes, mais s'il faut les utiliser sur une grande échelle il faut que leur action soit spécifique. Ils ne doivent être toxiques ni pour l'homme, ni pour les animaux et ne doivent pas détruire les feuilles des plantes sur lesquelles on les emploie sous forme de pulvérisations.

Les Arabes savaient que les fleurs de pyrèthre détruisaient les insectes et les vers mais il n'y a que 70 ou 80 ans que l'on emploie des agents chimiques pour la destruction des insectes. Jusqu'à une époque récente les principaux insecticides employés étaient le pyrèthre, le derris, la nicotine, l'acide cyanhydrique, le *p*-dichlorobenzène et divers isocyanates organiques ainsi que quelques poisons minéraux tels que l'oxyde arsénieux, les arsénites et les sels de plomb. L'emploi de poisons minéraux est à déconseiller parce qu'ils sont fortement toxiques pour les animaux.

Parmi ces poisons pour insectes, seuls les principes actifs du pyrèthre et du derris (c'est-à-dire respectivement les pyréthrines et la roténone) agissent sur ceux-ci à des doses infimes et n'offrent aucun danger pour les animaux. Le pyrèthre et le derris sont coûteux et leur production est limitée. C'est ce qui a conduit depuis quelques années à recherches pour les remplacer des substances faciles à obtenir synthétiquement. Entre 1934 et 1939 Lean et d'autres encore ont étudié les propriétés insecticides de plusieurs milliers de substances employant pour leurs expériences les charançons, les mouches, les locustes, les moustiques et certains aphides. On découvrit ainsi plusieurs substances toxiques pour les insectes, mais aucune n'était aussi active que les pyréthrines ou la roténone. La plupart des substances qui tuent les insectes sont nuisibles aux plantes ou aux animaux.

En 1939 le mode d'étude de ce problème fut modifié. On fit choix d'un certain nombre d'insectes parasites et l'on rechercha les produits et les méthodes les mieux adaptés à leur destruction. Au début de 1942, l'étude porta particulièrement

sur l'altise du navet et plusieurs substances furent essayées, dont l'heptachlorocyclohexane et l'octochlorocyclohexane. On essaya également l'hexachlorure de benzène ou 1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane ($C_6H_6Cl_6$). Pour faciliter la nomenclature, celui-ci fut appelé 666. Les essais au laboratoire et les essais en pleine terre, sur une échelle réduite, effectués au cours de l'été de 1942 furent des plus encourageants bien que la toxicité variât quelque peu d'un échantillon à l'autre. Il fut décidé de remplacer le derris par de l'hexachlorobenzène dans la poudre insecticide contre l'altise pendant le printemps et l'été de 1943. La poudre fut standardisée à l'aide de tests biologiques. Les quelques centaines de tonnes employées montrèrent que cette poudre était au moins aussi active que celle qui contenait de derris.

On chercha en même temps à établir la cause de l'inégalité d'action des différentes échantillons en tenant compte tout particulièrement du fait que l'impureté pouvait être le principe actif ou que les différents isomères de l'hexachlorobenzène pouvaient être actifs à des degrés variés.

Faraday avait été le premier à préparer ce corps par chloruration du benzène sous l'action des rayons solaires. En 1833 Mitscherlich décrivit la décomposition de ce corps en trichlorobenzène sous l'action des bases. Péligot et Laurent déterminèrent sa constitution en 1836. Meunier montra alors qu'il existait deux isomères, l'isomère α fondant à 157° C et l'isomère β dont le point de fusion était beaucoup plus élevé. En 1912, van der Linden établit l'existence de quatre isomères.

En 1942 Burrage et ses collaborateurs préparèrent des échantillons purs des variétés alpha et beta et étudièrent leur toxicité vis-à-vis des insectes: ils constatèrent qu'elles n'étaient très actives ni l'une ni l'autre, en particulier la forme beta qui n'est pour ainsi dire pas toxique. Au début de 1943 ils isolèrent la forme gamma et constatèrent qu'elle était plus toxique vis-à-vis du charançon que toute autre substance essayée jusqu'alors. L'isomère delta n'est que modérément toxique. Il était ainsi démontré que la toxicité de l'hexachlorobenzène était due presque entièrement à l'isomère gamma que l'on désigna sous le nom de «gammexane».

Il est possible d'obtenir les quatre isomères à partir du 666 brut d'où on les sépare grâce à leur différence de solubilité dans divers solvants tels que benzène, chloroforme ou alcool méthylique.

On sait maintenant que les points de fusion de ces isomères sont:

TABLEAU I

Alpha ..	157,5°–158° C	Gamma ..	112,5° C
Beta ..	309° C	Delta ..	138°–139° C

On peut déduire la structure des quatre isomères connus de l'examen des modèles atomiques dans lesquels les distances entre les atomes sont proportionnelles aux distances déterminées par l'analyse aux rayons X.

La figure 1 montre les six atomes de carbone tels qu'ils se présentent dans l'anneau cyclohexanique. On notera que trois des atomes de carbone sont dans le même plan, les trois autres en occupant un autre. Si trois atomes d'hydrogène sont fixés au-dessus des trois carbones supérieures et trois autres au-dessous des trois carbones inférieurs et que l'on fixe alors six atomes de chlore dans l'anneau extérieur, on obtient le modèle atomique représenté sur la figure 2. Dans ces figures, le plus grand modèle, situé au-dessus, est photographié directement, tandis que le plus petit modèle est l'image donnée par un miroir de la partie inférieure du modèle supérieur. Ce modèle atomique est symétrique; c'est donc l'isomère beta qui a une forme cristalline régulière et pour lequel l'analyse aux rayons X a montré l'existence d'une centro-symétrie.

Dans la figure 3 on voit que l'un des atomes d'hydrogène attachés à l'un des atomes de carbone du plan inférieur a changé de place avec l'atome de chlore attaché au même atome de carbone, de sorte que cet isomère présente un atome de chlore dans le plan inférieur et un atome d'hydrogène dans l'anneau extérieur. On peut voir l'atome de chlore dans le plan inférieur sur l'image donnée par le miroir.

Il est évident d'après la figure 3 qu'il n'y a pas de place pour un nouvel atome de chlore en remplacement des deux atomes d'hydrogène restants dans le plan inférieur, mais il est possible qu'un atome de chlore change de place avec l'un des trois atomes d'hydrogène du plan supérieur. Dans la figure 4 l'atome d'hydrogène du fond a été remplacé par du chlore mais la même chose pourrait se produire pour l'un quelconque des deux autres atomes d'hydrogène. Dans la figure 5 c'est celui de droite qui a été remplacé et dans la figure 6 celui de gauche. Ces deux formes ne sont pas tout-à-fait identiques, mais sont symétriques par rapport à un plan. Elles auront probablement le même point de fusion et formeront ensemble l'un des isomères connus, l'isomère alpha,

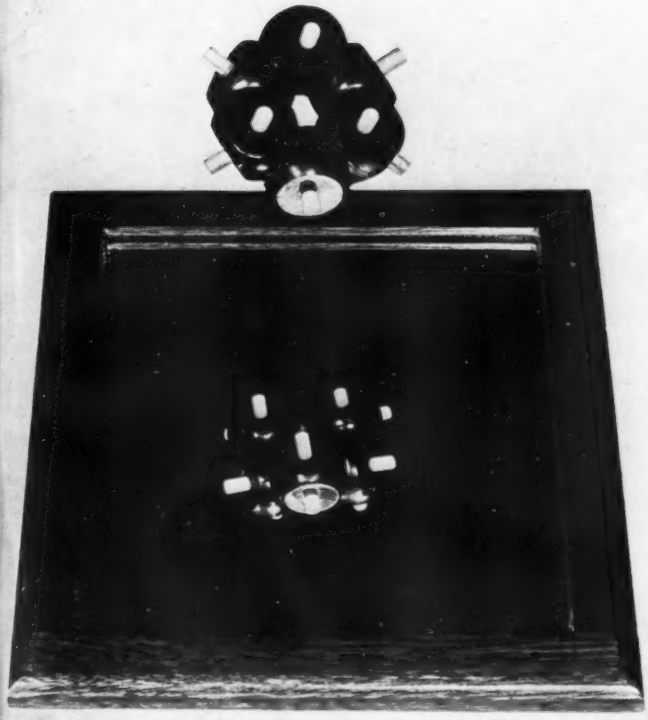


FIGURE 1

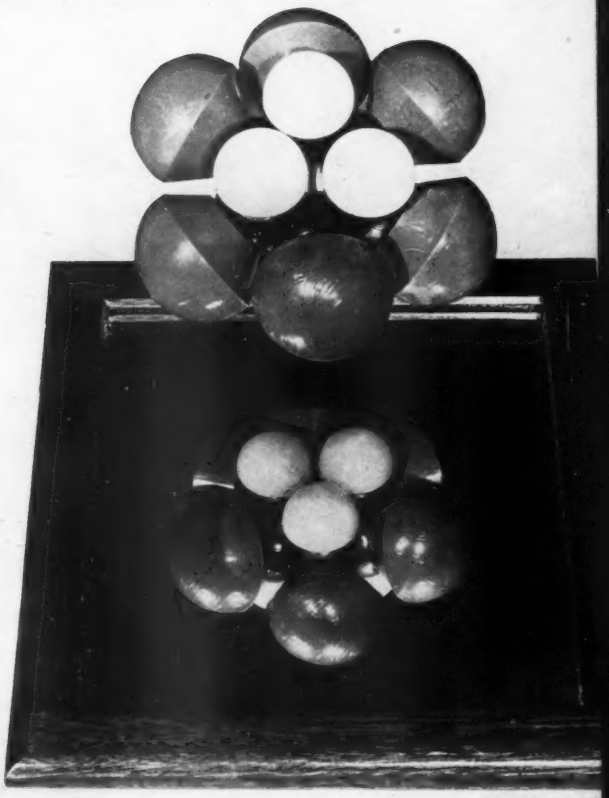
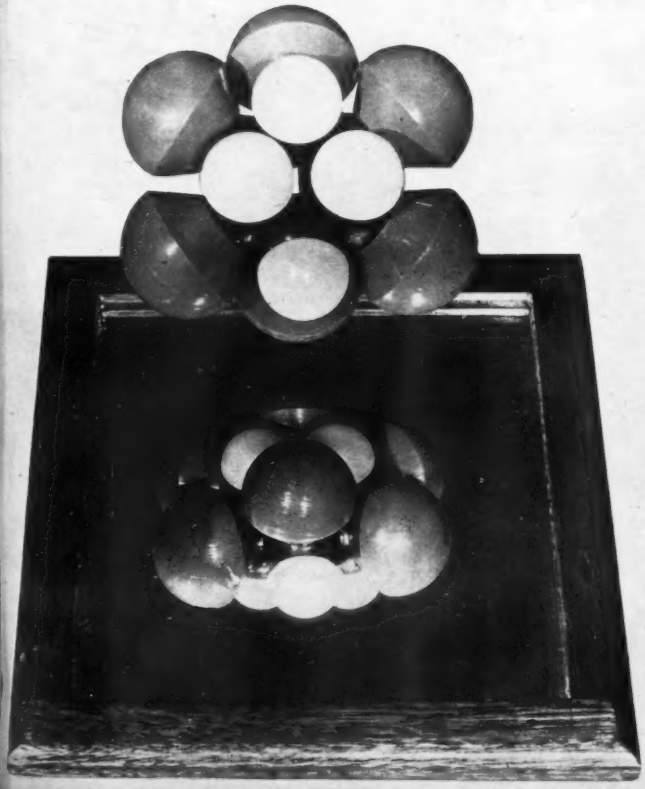
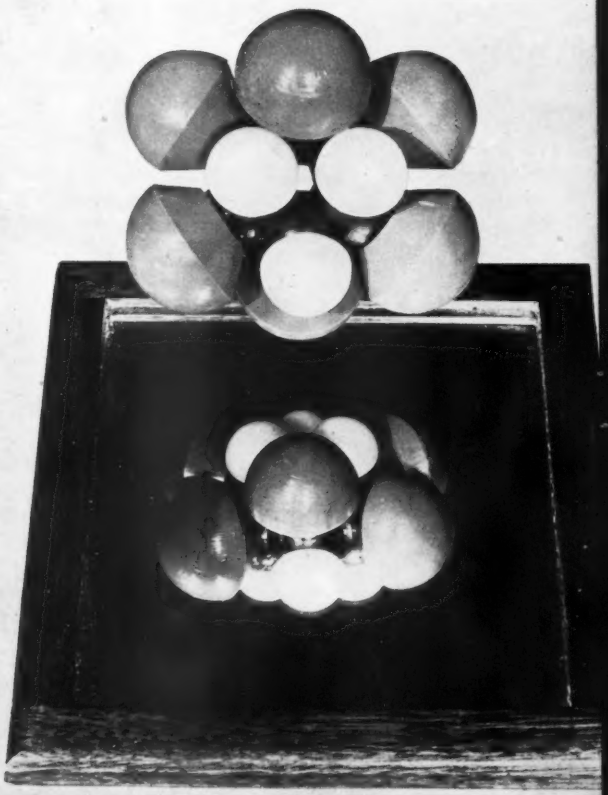


FIGURE 2





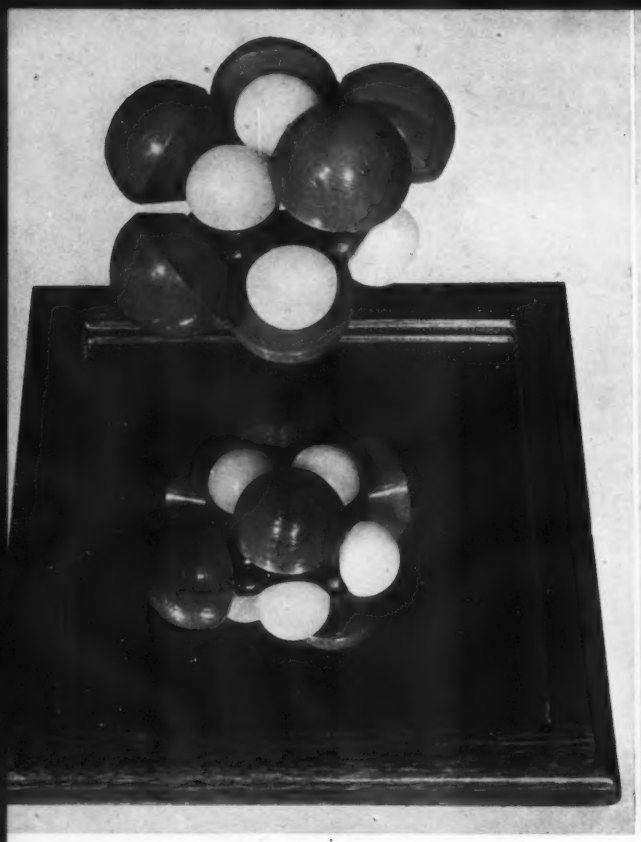


FIGURE 5

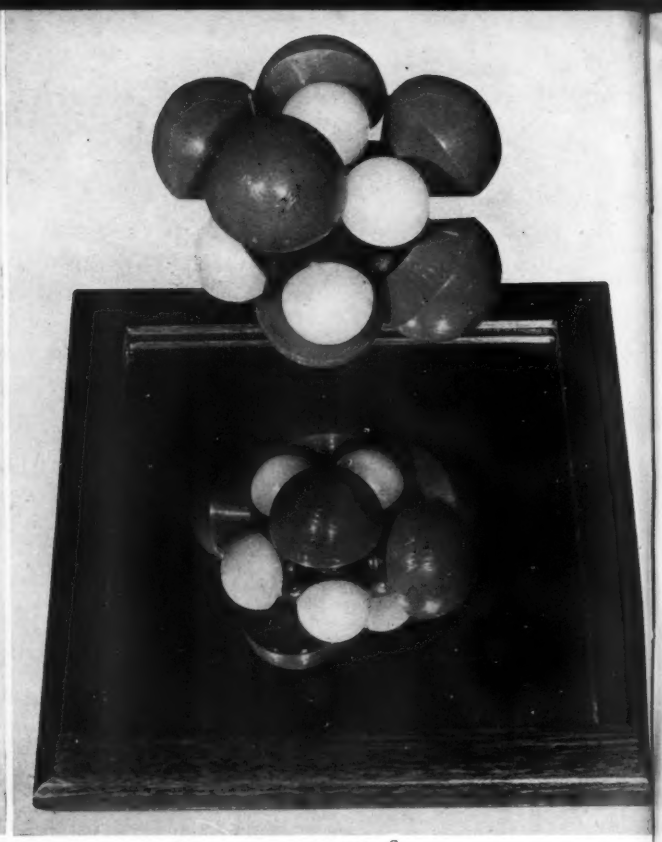


FIGURE 6

pensons-nous, et c'est l'isomère delta qui est représenté sur la figure 4. D'après une étude statistique du processus de chloruration par addition, Burrage tire la conclusion que l'arrangement des atomes de chlore présents dans l'isomère alpha, qui comporte deux formes symétriques par rapport à un plan, est celui qui offre le maximum de probabilités tandis que l'arrangement des atomes de chlore dans l'isomère centro-symétrique en offre le minimum.

On a trouvé qu'il y avait dans le produit de chloruration environ 5 pour cent de l'isomère beta et jusqu'à 70 pour cent de l'isomère alpha. Ceci fait supposer que l'isomère alpha est celui qui possède les formes énanthiomorphes. Il faut attendre un examen aux rayons X plus approfondi pour pouvoir donner une description exacte des isomères gamma et delta, mais on suppose que la figure 3 représente la structure de la forme gamma.

TABLEAU II

Toxicité relative des isomères de l'hexachlorure de benzène vis-à-vis du charançon (Calandria granaria) *appliqués en pulvérisation sur les grains*

D'après H. H. S. Bovingdon

Isomère	Quantité relative, en poids, nécessaire pour tuer 50 pour cent des parasites en 5 jours
Alpha	900
Beta	A peu près non-toxique
Gamma (gammexane) ..	1
Delta	5,500
D.D.T.	15

On a déterminé la toxicité des différents isomères pour plusieurs variétés d'insectes. Les résultats obtenus avec le charançon sont consignés dans le tableau II. Afin de fournir une base de comparaison on donne également les chiffres obtenues avec le D.D.T. (dichloro-diphényl-trichloréthane) qui est un nouvel insecticide puissant. On a fait les mêmes recherches sur la mouche commune.

Le tableau III montre la toxicité vis-à-vis de la larve du moustique de la fièvre jaune, de divers insecticides, entre autres du gammexane et du D.D.T.

Le gammexane est particulièrement toxique vis-à-vis des locustes et les résultats d'essais faits en Afrique du Nord font espérer que l'on pourra

lutter efficacement contre ce fléau. Les résultats obtenus dans ces expériences sont donnés dans le tableau IV.

Le gammexane tout en étant fortement toxique vis-à-vis des insectes l'est très peu pour les animaux et est pour ainsi dire sans effet sur les feuilles. E. L. Taylor a fait des recherches sur la toxicité vis-à-vis des rats et a exprimé ses résultats en quantité de produit nécessaire par kg d'animaux vifs pour en détruire 50 pour cent en sept jours. Dans tous les cas le produit était introduit directement dans l'estomac. Les résultats sont consignés dans le tableau V.

Des recherches ont également été effectuées sur la toxicité chronique en faisant absorber à des rats une faible dose journalière pendant plusieurs semaines. Elles ont montré que ces faibles quantités sont éliminées sans que l'on constate d'action nocive, même après deux mois de traitement. L'action sur la peau a également été étudiée en badigeonnant deux fois par jour la peau et la queue de rats avec une émulsion contenant 5 pour cent du mélange d'isomères. Aucun effet nuisible n'a été observé même après quinze jours. Taylor a montré que le gammexane était toxique vis-à-vis du parasite de la gale notoédrique du rat, à des concentrations qui n'affectent pas l'hôte.

Il semble que l'emploi de 666 et de gammexane ne présente que peu ou pas de danger pour les animaux et pour l'homme mais il faut étudier l'action de tous les nouveaux produits chimiques sur la peau car il est difficile de déduire les effets sur l'homme d'expériences effectuées sur des animaux.

Il est remarquable que le gammexane, ou isomère gamma soit l'insecticide le plus puissant que l'on connaisse jusqu'à présent. Son mode d'action n'est pas encore tout-à-fait clair, mais les faits suivants sont probablement significatifs. L'inositol a une structure semblable à celle de l'hexachlorobenzène, les atomes de chlore étant remplacés par des groupements hydroxyles. L'inositol est donc le 1,2,3,4,5,6-hexahydroxycyclohexane. Il a été démontré que l'isomère présent dans la nature, le *meso*-inositol, est l'un des constituants de presque toutes les cellules végétales et animales et son action se trouve associée à celle du complexe vitaminique B. On a suggéré qu'en raison de leur similarité de structure le gammexane prenait la place du *meso*-inositol dans une réaction cellulaire essentielle — la réaction normale étant ainsi empêchée. Cette explication est en accord avec la théorie de Fildes et Woods relative au mode d'action des sulfamides. Ils ont suggéré que la toxicité de ces corps vis-à-vis des bactéries était due au remplacement dans une réaction cellulaire d'une molécule d'acide *p*-aminobenzoïque par une molécule de sulfamide, substance similaire au point de vue structural. Cette hypothèse est confirmée par le fait que l'activité des sulfamides est neutralisée par un excès d'acide *p*-aminobenzoïque. On n'a pu encore déterminer si un excès de *meso*-inositol diminuerait l'action du gammexane sur les insectes.

TABLEAU III

Toxicité de divers insecticides vis-à-vis de la larve du moustique de la fièvre jaune (Aedes Aegypti)

D'après F. J. D. Thomas

Insecticide	kg/ha	Pourcentage de larves mortes		
		Après 1 jour	Après 2 jours	Après 3 jours
Hexachlorure de benzène brut 666	0,56 0,067	0 0	23 0	93 20
Gammexane	0,56 0,067	0 0	97 33	100 80
Cyanure cuivreux	0,56 0,067	47 30	73 40	87 65
D.D.T.	0,56 0,067	0 0	43 23	97 47
Excipient pulvérulant seul	11,20	0	0	13

TABLEAU IV

Essais d'appâts empoisonnés préparés au laboratoire pour lutter contre la locuste africaine migratrice (Locusta migratoria migratorioides)

D'après M. D. Price

Insecticide	Concentration pour cent dans l'appât	Pourcentage d'insectes morts après deux jours
Hexachlorure de benzène brut 666..	0,02 0,05	62 96
Arsénite de sodium ..	4,0	66
D.D.T.	0,2	57

TABLEAU V

Isomère alpha	1,7 g par kg
Isomère beta	Aucun animal tué
Isomère gamma (gammexane)	0,19 g par kg
Isomère delta	1,00 g par kg
Mélange des isomères	1,25 g par kg

Récentes applications de la spectroscopie à la chimie

H. W. THOMPSON

Grâce aux progrès récents, il est maintenant possible d'utiliser la spectroscopie pour la détermination de la structure chimique, pour l'analyse qualitative et quantitative, ainsi que pour l'obtention d'autres renseignements chimiques importants. Les premiers travaux portaient particulièrement sur les spectres ultra-violets, mais plus récemment c'est l'étude des spectres infra-rouges des grosses molécules qui a donné les résultats les plus remarquables.

L'énergie absorbée par un atome est utilisée pour faire passer un électron d'un niveau inférieur à un niveau supérieur. Dans le cas des molécules, qui constituent le principal objet de la chimie, cette énergie peut avoir deux autres utilisations, elle peut, soit servir à produire une vibration du squelette nucléaire, soit provoquer la rotation de l'ensemble de la molécule. Les quanta d'énergie de rotation sont très petits, et amènent une absorption dans l'extrême infra-rouge à des longueurs d'onde voisines de 1 cm. Lorsqu'il s'agit de quanta de vibration, la région d'absorption se déplace vers le proche infra-rouge à des longueurs d'onde variant de 1 μ à 100 μ (10^{-4} à 10^{-2} cm) environ. L'absorption des quanta électroniques donne des spectres de longueur d'onde encore plus faible (10^{-4} à 2×10^{-5} cm) dans le spectre visible ou dans l'ultra-violet.

On ne sait encore que peu de choses sur les spectres moléculaires dans la région de l'extrême infra-rouge voisine de 1 cm de longueur d'onde, mais l'emploi d'ondes électromagnétiques ultra-courtes promet d'ouvrir un vaste champ d'exploration. Ceci peut conduire non seulement à la corrélation entre les niveaux d'énergie et la structure moléculaire, mais aussi, dans le cas des solides et des liquides, à des connaissances fondamentales sur la perte d'énergie causée par les anomalies de dispersion dans les diélectriques. A cet égard, la fonction des dipôles moléculaires est importante, et l'on peut espérer arriver à une formule plus exacte de la formule mathématique de ces phénomènes lorsqu'on aura obtenu un plus grand nombre de données expérimentales.

On possède maintenant de très nombreuses données obtenues à partir des spectres électroniques des molécules diatomiques. Le changement d'énergie électronique est accompagné d'une série de modifications de l'énergie de vibration et chacune de ces modifications peut être accompagnée d'une altération simultanée de l'énergie de rotation. Ces changements d'énergie de rotation accompagnant un changement d'énergie de vibration donnent naissance à un groupe de fréquences spectrales appelé bande, et la série de bandes propre à la transition électronique considérée forme un système de bandes. La structure de rotation à l'intérieur d'une bande est déterminée par deux facteurs: les moments d'inertie de la molécule dans les deux états entre lesquels la transition se produit, et la nature propre aux états électroniques en jeu. L'analyse de la structure de rotation conduit donc aux valeurs du moment d'inertie et par conséquent à la longueur de liaison; on a pu également obtenir des données sur la stabilité relative des différents types de structure électronique qui sont très importants pour l'établissement des théories de la valence.

Il est souvent possible, à partir de la disposition des bandes de vibration dans un système, de déterminer la chaleur de dissociation de la molécule et la fréquence fondamentale de vibration, et de déduire d'autres résultats ayant de nombreuses applications, tels que la fonction qui exprime la façon dont l'énergie potentielle de la molécule varie au cours d'une vibration. Si l'on considère la molécule diatomique comme constituée par deux masses animées d'une vibration harmonique simple, on peut calculer à l'aide de la fréquence fondamentale la constante de force d'allongement de la liaison, et cette valeur a permis de comparer les liaisons simples, multiples, et hybrides. On possède également maintenant des équations empiriques qui expriment la constante de force d'une liaison entre deux atomes donnés par rapport à sa longueur, et qui peuvent servir à estimer la longueur de liaison à partir de la constante de force lorsqu'il n'est pas possible

de la déterminer directement. Finalement, il est maintenant possible, en utilisant les mesures de la fréquence de vibration et du moment d'inertie, de calculer de façon très précise les propriétés thermodynamiques d'une molécule, telles que l'énergie libre, l'entropie, et la chaleur spécifique. On a pu obtenir de cette façon des valeurs précises et qu'il était impossible de déterminer autrement, pour les constantes d'équilibre de nombreuses réactions.

Contrairement à ce qui se passe pour une molécule diatomique, l'absorption d'énergie électronique par une molécule polyatomique entraîne souvent sa dissociation. Il y a donc rarement des spectres d'émission pour des molécules de ce type, et les spectres d'absorption dans le visible ou l'ultra-violet sont généralement constitués par de larges régions d'absorption continue. Dans certains cas où l'on a observé des bandes indiquant une structure de rotation on a pu obtenir par déduction les moments d'inertie et d'autres données structurales; et l'on a établi une corrélation entre certains spectres présentant une structure de bande avec résolution incomplète et les processus qui entrent en jeu dans une modification photochimique. Mais en général on ne peut exprimer les spectres de ces grosses molécules que par des courbes montrant comment le coefficient d'extinction moléculaire varie avec la longueur d'onde. Ces courbes spectrales ont été très utiles en analyse, car elles permettent la détermination, qualitative et quantitative, de nombreux complexes organiques d'intérêt biologique, tels que les hormones, les vitamines, les pigments végétaux, les porphyrines, et leurs dérivés. De plus, on a trouvé que certains assemblages d'atomes ont des propriétés chromophores, et absorbent fortement à des longueurs d'onde spécifiques; d'autres différences structurales telles que celles qui existent entre les dérivés *ortho*, *méta*, et *para*, produisent également des déplacements caractéristiques. Les résultats obtenus permettent de déterminer dans de nombreux complexes organiques, la présence d'un groupement particulier, ou de décider entre plusieurs structures possibles.

Plus récemment ce sont les spectres de rotation-vibration dans le proche infra-rouge qui sont passés au premier plan. La plus grande partie de cette région peut être étudiée avec des spectromètres à prismes dans lesquels les lentilles sont remplacées par des miroirs et le prisme et les cuves sont en quartz, en sel gemme, en fluorine, ou en halogénures de potassium; la radiation est détectée par des dispositifs thermo-électriques. Des améliorations techniques ont permis de remplacer les anciens spectromètres par des instruments plus rapides à enregistrement automatique, comme celui que représente la figure 2.

Une molécule diatomique n'a qu'un seul mode de vibration, tandis qu'une molécule polyatomique en a plusieurs, et bien que le spectre infra-rouge soit de ce fait plus compliqué, il est en même temps plus intéressant. Un assemblage de n atomes donnera $3n$ degrés de liberté de translation. Lorsque les atomes sont unis entre eux pour donner une molécule, le mouvement de translation demande 3 degrés de liberté et comme, en général, la molécule pourra également tourner autour de chacun des trois axes perpendiculaires entre eux, il restera $(3n - 6)$ degrés de liberté pour les déplacements internes restants. Ces modes de vibration sont appelés « normaux » ou « propres ». On pourra obtenir par dérivation n'importe quel mouvement de vibration arbitraire en couplant ensemble deux ou plusieurs de ces modes normaux avec des différences de phases appropriées. Pour des molécules linéaires telles que CNH ou C_2H_2, comme il n'y a que deux degrés de liberté de rotation, il y aura $(3n - 5)$ modes normaux, et pour certaines molécules dans lesquelles il se produit une rotation moléculaire interne en même temps que les trois rotations moléculaires complètes, il y aura $(3n - 7)$ vibrations.

Il est possible, pour quelques molécules symétriques simples, de spécifier la forme géométrique de ces oscillations et de les classer en divers types. Ainsi, dans la figure 1 les vibrations de l'anhydride carbonique (A) et de l'acétylène (C) sont, soit des vibrations de valence, dans lesquelles l'oscillation se produit le long de la liaison de valence, soit des modes de déformation, dans lesquels elle se produit dans des directions perpendiculaires à ces liaisons. Les vibrations de modèles triangulaires isocèles tels que H_2O se produisent également le long des liaisons (B1 et B2) ou leur sont essentiellement perpendiculaires (B3). Dans certains cas également on peut représenter les vibrations comme des modes de « balancement », d'« inclinaison », de « courbure », ou de « torsion » qui sont donnés dans la figure 1.

On peut souvent reconnaître les vibrations moléculaires grâce à leur symétrie et à la façon dont le moment électrique change au cours de la vibration. On pourrait donc, *a priori*, croire que si l'on expose une molécule à un faisceau de radiations infra-rouges contenant toutes les fréquences, elle absorbera les fréquences correspondant à chaque mode normal. Les choses ne se

passent généralement pas ainsi. La radiation n'est absorbée que lorsque la vibration est accompagnée d'un changement de moment électrique, et l'intensité de l'absorption dépend de l'amplitude de ce changement. Il s'ensuit qu'il n'y a pas d'absorption dans l'infra-rouge pour les molécules homonucléaires telles que les molécules d'azote, et ceci s'applique également aux vibrations telles que A1 et C1 de la figure 1. Il s'ensuit également que les différentes vibrations que l'on observe dans un cas donné seront absorbées avec des intensités variables. Quant aux vibrations qui comportent un changement de moment électrique et qui sont absorbées, le changement de moment est dans certains cas parallèle à un axe ou à un plan de symétrie et dans d'autres, perpendiculaire à ceux-ci; mais une telle simplification n'est possible que lorsqu'il y a un plan de symétrie et dans les cas plus courants de molécules asymétriques, les vibrations sont de caractère hybride.

Quelques petites molécules suffisamment volatiles pour pouvoir être étudiées à l'état de vapeur, ont des moments d'inertie qui sont encore assez bas pour qu'il soit possible d'analyser la structure de rotation de leurs bandes de vibration. La disposition de ces raies de rotation varie selon le sens par rapport à l'axe de symétrie dans lequel se produit le changement de moment électrique, mais il est souvent possible en combinant les chiffres donnés par plusieurs bandes, de déterminer les trois principaux moments d'inertie. On peut alors calculer les longueurs et les angles de liaison, mais il ne faut pas oublier que dans la plupart des cas le nombre de paramètres inconnus (longueurs et angles de liaison) dépasse trois, qui est le nombre maximum de moments d'inertie; dans des cas de ce genre on ne peut déterminer complètement la structure moléculaire que si l'on considère certains paramètres comme connus. Dans certains cas l'emploi du deutérium a permis de faire cesser certaines ambigüités. L'acide cyanhydrique, CNH, par exemple, n'a qu'un seul moment d'inertie, mais il a deux longueurs de liaison. La mesure du moment d'inertie pour CND donne un deuxième moment d'inertie pour ces deux longueurs de liaison, et par conséquent deux équations à partir desquelles les longueurs de liaison peuvent être déterminées avec une très grande précision.

On a pu obtenir de nombreux renseignements analogues pour des molécules simples telles les halogénures de méthyle et les hydrocarbures inférieurs, et pour les molécules pyramidales d'ammoniac. A mesure que les dimensions des molécules augmentent au point que la structure de rotation n'est pas déterminée, il est parfois possible de déduire les moments d'inertie à partir de l'« enveloppe » ou du « contour » de cette structure de rotation. Ce contour, ou cette structure de rotation incomplètement résolue, nous indique souvent le sens du changement de moment

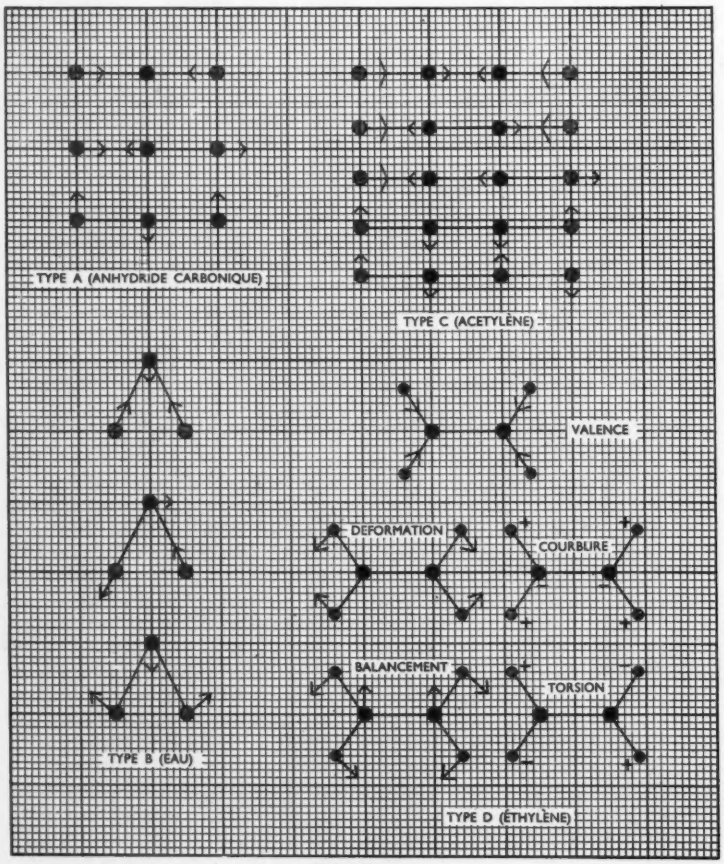


FIGURE 1

électrique dans un type particulier de vibration, et de cette façon on peut obtenir par déduction des conclusions qualitatives sur la configuration moléculaire lorsque plusieurs configurations stéréochimiques sont possibles.

Avec les grosses molécules (qui sont en fait la majorité, et qui ne peuvent être étudiées qu'à l'état solide ou liquide, ou en solution) on ne peut déterminer que les fréquences de vibration, et les résultats peuvent être utilisés de deux façons. S'il est possible de déterminer *toutes* les fréquences de vibrations et de les assigner à des modes normaux correspondants, leurs valeurs peuvent servir à calculer d'autres propriétés plus importantes telles que les constantes de force pour l'allongement des liaisons et la courbure des angles, et les propriétés thermodynamiques déjà mentionnées. Ceci n'est pas facile à réaliser pour la plupart des molécules. Ainsi que nous l'avons déjà expliqué, certaines vibrations peuvent ne pas être observables dans le spectre d'absorption. Mais on peut néanmoins les trouver dans le spectre Raman, ou à partir des spectres de fluorescence.

On a essayé de calculer les constantes de force mais, en dehors des difficultés mathématiques considérables, on sait maintenant que la valeur des résultats peut être compromise si la fonction d'énergie potentielle des vibrations qui a été choisie est légèrement défectueuse, et l'on dispose rarement de moyens satisfaisants de vérifier leur exactitude. De meilleurs résultats ont été obtenus en comparant les propriétés thermodynamiques mesurées et calculées. En effet, les valeurs mesurées et les valeurs calculées de la chaleur spécifique ou de l'entropie de plusieurs molécules ayant un squelette rigide cadrent étroitement. Pour d'autres molécules on a attribué les résultats contradictoires à la rotation interne plus ou moins limitée qui se produit autour des liaisons simples. On a maintenant calculé pour un nombre suffisant de cas les barrières d'énergie potentielle résistant à cette torsion interne pour que nous puissions commencer à formuler les raisons de la réduction de la rotation libre autour de diverses liaisons simples.

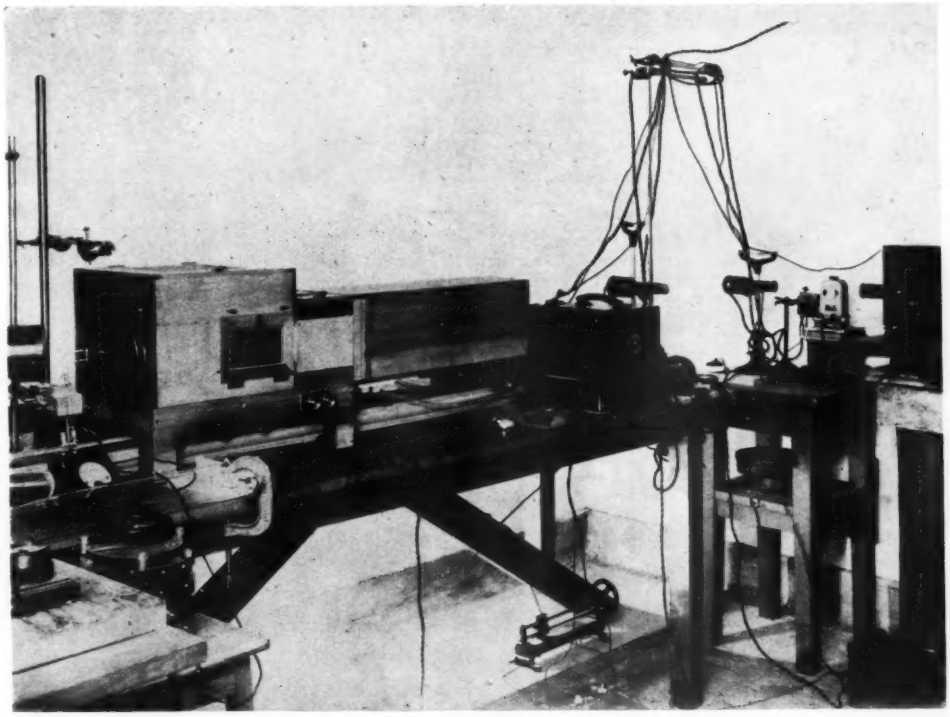


FIGURE 2

L'utilité des données fournies par l'absorption dans l'infra-rouge n'est pas limitée à cet idéal de détermination et d'attribution correctes de toutes les fréquences de vibration, et l'on réalise maintenant sa valeur dans l'analyse qualitative et

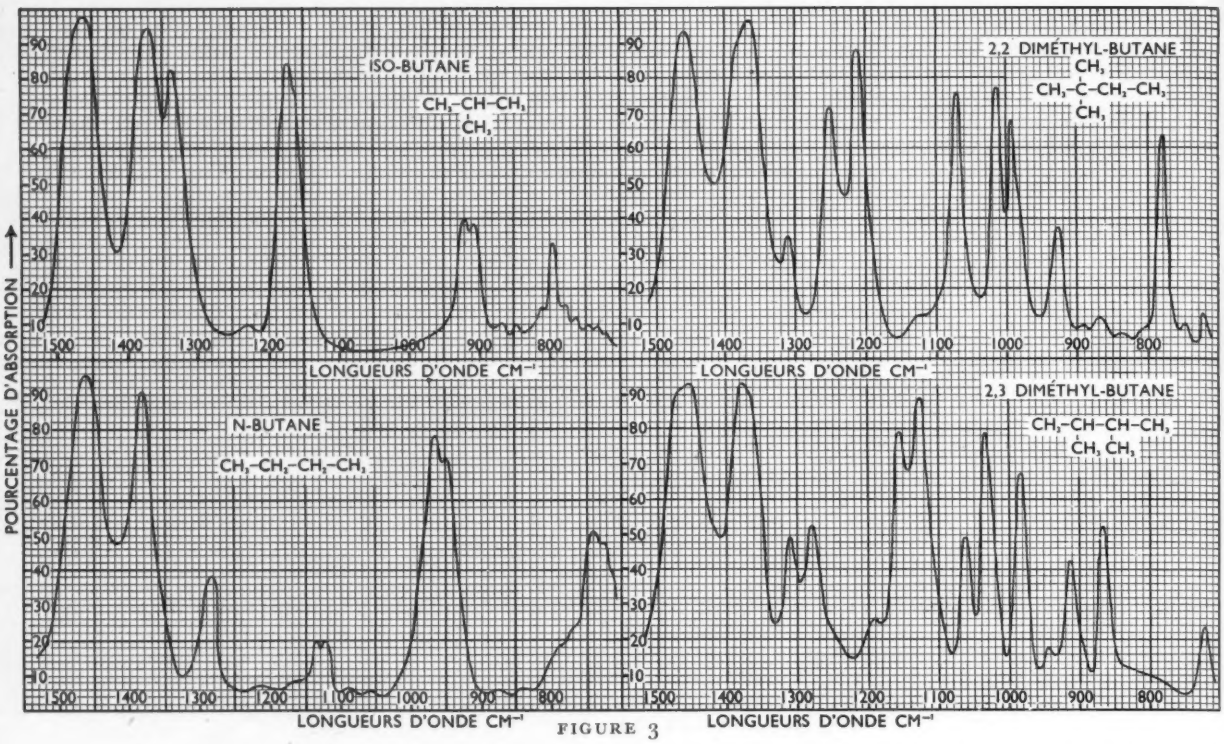


FIGURE 3

quantitative et dans l'identification structurale. L'expérience montre par exemple que certains groupements (C=C, C=O, OH) ont des fréquences de vibration qui ne sont presque pas modifiées quand ce groupement se trouve dans des molécules différentes. Ainsi, si l'on sait qu'une substance contient le groupement O–H et si elle ne donne pas la bande caractéristique d'absorption dans l'infrarouge, on peut en déduire que ce groupement a été influencé d'une façon ou d'une autre. L'étude des composés hydroxylés (acides organiques, alcools, phénols, etc.) faite dans ce sens, a révélé dans beaucoup de ces molécules l'existence de ponts d'hydrogène du type –O–H---O–.

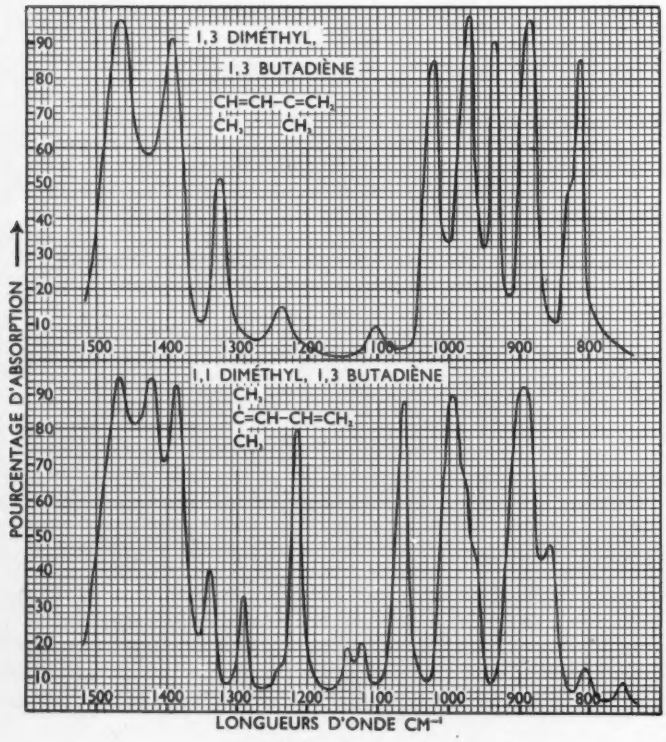


FIGURE 4

Le fait qu'une grosse molécule possède un spectre de vibration qui lui est propre a d'autres conséquences plus importantes encore. En principe, si deux molécules ont un squelette nucléaire différent, elles ne peuvent pas avoir des groupes identiques de fréquences de vibration, et ceci est vrai pour des molécules aussi voisines que deux isomères *cis-trans*. La figure 3 donne les spectres *a*) du butane normal et de l'*iso*-butane, et *b*) deux hexanes isomères. Dans chaque cas les différences caractéristiques sont telles qu'il est possible de calculer directement la proportion de chaque isomère dans un mélange des deux. Ceci est évidemment très important pour l'analyse de

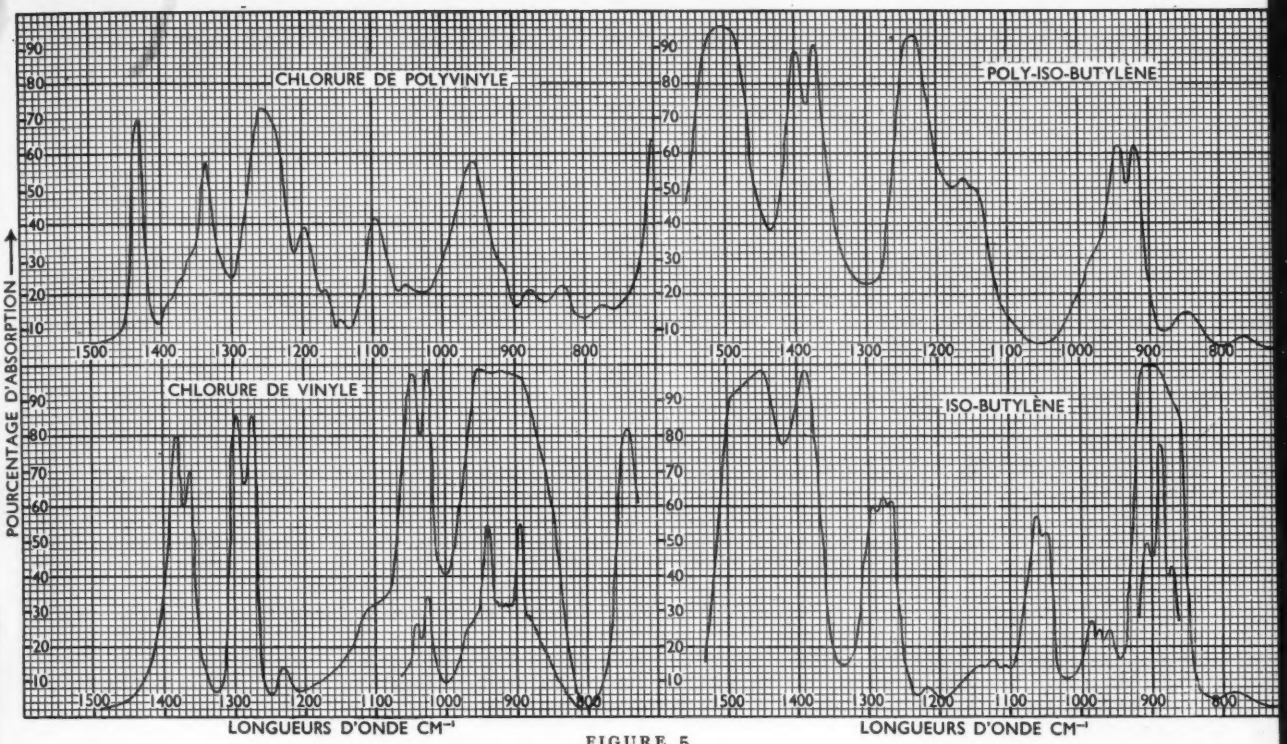


FIGURE 5

mélanges d'isomères à points d'ébullition très voisins. La figure 4 représente un autre groupe de deux diméthyl-butadiènes isomères; l'analyse de chacun dans un mélange serait difficile sinon impossible par les méthodes courantes d'analyse chimique. Chaque isomère présente des bandes caractéristiques à des longueurs d'onde différentes, et il serait possible de faire une analyse en quelques minutes sur 1 cc de produit.

L'absorption dans l'infra-rouge a déjà une autre application importante dans le domaine de la chimie des polymères. D'après les remarques faites plus haut, il est clair que le spectre donné par un polymère sera très différent de celui du monomère qui lui a donné naissance. La figure 5 représente les spectres du chlorure de polyvinyle et celui du poly-*iso*-butylène, en même temps que ceux des monomères. C'est donc là un moyen commode de mesurer le taux de polymérisation et de contrôler le processus. Ce qui est plus important encore c'est que les mesures effectuées nous permettent simultanément de suivre le mécanisme de ces polymérisations et de déterminer dans une certaine mesure les structures des matières plastiques, des caoutchoucs, ou des autres polymères. On sait déjà en effet que, de même que des liaisons individuelles telles que C=O, O–H, peuvent donner naissance à une vibration de fréquence qui reste la même dans différents composés, de même de petites portions d'un squelette nucléaire peuvent avoir des ensembles de fréquences de vibration essentiellements constantes quelle que soit la nature du reste de la molécule. Les résultats obtenus pour des oléfines simples ont montré qu'il est possible d'identifier différents types d'éthylènes substitués au moyen de bandes d'absorption caractéristiques, et ceci nous permet de déterminer les proportions de l'addition en 1,2 ou 1,4 de diènes conjugués tels que le 1,3 butadiène ou l'isoprène. Quand le premier se polymérise, l'addition 1,4 donne la structure

$$-CH_2-CH=CH-CH_2-CH_2-CH=CH-CH_2-$$

et l'addition 1,2 la structure

$$\begin{array}{ccccc} -CH_2- & CH & -CH_2- & CH & - \\ & | & & | & \\ & CH & & CH & \\ & \| & & \| & \\ & CH_2 & & CH_2 & \end{array}$$

et les proportions respectives de chacune sont révélées aussitôt par le spectre d'absorption. Cette méthode rapide a permis d'étudier la façon dont la nature chimique de différentes molécules formant des co-polymères telles que le butadiène avec le styrène ou l'acrylonitrile, ou les conditions spéciales dans lesquelles les réactions se produisent, influent sur la structure du produit obtenu.

Revue des livres

MATERIAUX NOUVEAUX

Materials of To-morrow, *par Paul I. Smith. Pp.* 140, *avec* 18 *planches. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres.* 1945. *Prix net* 12*s.* 6*d.*

Ce livre est une véritable mine d'informations sur la production, les propriétés, les applications et la place dans l'économie nationale des matières plastiques, des caoutchoucs synthétiques, des bois et des aciers nouveaux, des métaux légers, des ciments, des verres, des textiles nouveaux, des céramiques modernes, des adhésifs synthétiques et des produits pharmaceutiques nouveaux. La deuxième guerre mondiale nous a transportés dans un monde nouveau au point de vue des matières premières et de l'industrie, et dans lequel les recherches de science pure et appliquée occupent une place toujours plus importante. L'auteur insiste sur le fait que la suprématie technologique est un facteur primordial de sécurité nationale et demande que l'on augmente considérablement en Grande-Bretagne les moyens de travail pour ce genre d'études. En Grande-Bretagne comme aux Etats-Unis, écrit-il, la recherche scientifique devrait être une dépense prélevée sur les revenus, et non sur le capital. Il demande une économie sévère dans l'emploi du charbon et « la cessation immédiate des exportations de ce charbon qui est notre principal capital industriel ». L'auteur recommande aussi l'installation dans les principaux ports, de raffineries pour le pétrole brut. Il considère que le Canada, riche en minéraux, en ressources hydroélectriques et en possibilités industrielles de toutes sortes sera le centre commercial de l'Empire Britannique et croit inévitable l'émigration vers ce Dominion d'une large proportion des ouvriers.

Nos hommes politiques surtout devraient lire ce livre plein de renseignements et de suggestions, qui élargirait leur horizon sur bien des questions essentielles.

JOHN READ

LES ALGUES

The Structure and Reproduction of the Algae, *par F. E. Fritsch. Tome II. Pp.* 939, *avec* 1 *planche,* 2 *cartes et* 336 *illustrations dans le texte. University Press, Cambridge.* 1945. *Prix net* 50*s.*

La parution du deuxième tome de l'étude de Fritsch sur les algues était impatiemment attendue. Dans la préface, l'auteur étudie les conditions de vie des algues dans les zones littorales et sublittorales des côtes du monde entier et en résume l'écologie et la distribution géographique. La partie principale du volume est une étude complète de la morphologie des Phaeophycées, des Rhodophycées et des Myxophycées. La classification adoptée pour ces groupes est la plus récente et l'auteur a inclus tous les renseignements physiologiques et écologiques qui permettent d'arriver à une meilleure compréhension de la thèse générale. Il résume et discute la plupart des articles publiés sur ce sujet jusqu'au milieu de 1943. Une caractéristique précieuse est la longue liste de références à la fin de chaque section. Le livre est riche en illustrations provenant de nombreuses sources, mais un certain nombre d'entre elles et surtout celles relatives à l'habitat des plantes, ont malheureusement souffert à la réduction. Ce second volume complète un ouvrage qui restera classique et c'est un grand avantage pour les savants anglais qu'il ait été écrit dans leur langue. Sa parution dans les circonstances présentes est une réussite pour laquelle l'auteur et les éditeurs méritent de chaleureuses félicitations.

LILY NEWTON

VULGARISATION SCIENTIFIQUE PAR EMISSIONS RADIOPHONIQUES

Science at Your Service, *par Julian Huxley, Sir Lawrence Bragg, E. C. Bullard, John Read, Sir Edward Appleton et autres. Pp.* 102. *George Allen & Unwin Limited, Londres.* 1945. *Prix net* 6*s.*

Bien qu'on puisse facilement imaginer le titre de cet ouvrage, « la Science à votre service » répété avec ironie par une victime des ravages de cette guerre, il n'en exprime pas moins fidèlement le but de l'ouvrage, car c'est surtout la Science qui est en mesure d'augmenter notre bien-être et de contribuer à amener cette époque d'abondance pour toutes les nations qui n'est jusqu'ici qu'un idéal difficile ou même irréalisable. Douze sujets ont été traités dans cette remarquable série d'émissions: La Science et la Maison, l'Architecture, les Plastiques, Etoffes et Vêtements, les Explosifs, Sondages de l'écorce terrestre, Météorologie, la Consommation du Poisson, le Sauvetage en mer, les Constructions navales, le Percement des Tunnels, la Science dans la vie de la Nation.

Les auteurs, chacun avec sa méthode propre, ont brillamment démontré deux choses: d'abord que la Science a un rôle toujours plus important à jouer dans notre vie personnelle et notre vie sociale; et ensuite que malgrè l'extraordinaire complication des techniques qui marque le progrès actuel de la Science, il est possible, en choisissant adroitement exemples ou analogies, de faire comprendre à un profane non seulement les résultats obtenus, mais aussi la méthode et l'esprit de la recherche scientifique.

ALLAN FERGUSON

LA NOTION DE TEMPS

Time, Knowledge, and the Nebulae, *par Martin Johnson. Pp.* 189. *Faber & Faber, Londres.* 1945. *Prix net* 12*s.* 6*d.*

L'auteur discute la notion de temps en se référant particulièrement à la théorie de la relativité cinématique du Professeur E. A. Milne. L'auteur prend comme idée de base la « vélocité des signaux lumineux » assurant qu'il faut poser comme principe fondamental que « la vélocité de propagation du signal doit être considérée comme constante dans tout système de connaissances cohérent » (p. 51).

Il est cependant possible de concevoir un univers euclidien avec un éther dont la constante diélectrique varierait lentement de point en point, avec la conséquence que la vitesse de la lumière y varierait aussi en passant d'une région à une autre. Si notre univers était de ce type, rien n'aurait empêché des physiciens utilisant les méthodes du XIXème siècle d'arriver à une connaissance de cet univers semblable à celle des physiciens du XIXème siècle pour l'univers réel.

Pour d'autres raisons encore, les preuves données pour les équations bien connues de relativité particulière sont défectueuses; et, dans son ensemble, ce livre qui témoigne de l'érudition et de la largeur de vues de son auteur, démontre aussi que ses facultés critiques ne sont pas à la hauteur de son don de compréhension.

E. T. WHITTAKER